

JURNAL ZEOLIT INDONESIA
Journal of Indonesian Zeolites

Vol. 7 No. 2, November, Tahun 2008

ISSN 1411-6723

1. Pengolahan Limbah Uranium Menggunakan Alumino Siliko Fosfat
(**Aisyah, Herlan Martono, Wati**) 69
2. Potensi Zeolit di Indonesia (**Kusdarto**) 78
3. Pupuk NPK Lepas Lambat dengan Zeolit sebagai Salah Satu Filler
di Perkebunan Teh (**Pudjo Rahardjo**) 88
4. Sintesis dan Karakterisasi ZSM-5 *Mesoporous* dengan Variasi
Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (**Susi Nurul Khalifah, Didik Prasetyoko**) 96
5. Sintesa dan Karakterisasi Komposit Zeolit-Resin Polimetakrilat
(**Yusuf Nampira**) 102
6. Pemanfaatan Zeolit sebagai Bahan Pembuatan Biopestisida
Berbahan Aktif Nematoda *Steinernema spp.* Berbentuk Granuler
(**Bambang Setyobudi, dan Wagiyana**) 108

Diterbitkan Oleh:

IKATAN ZEOLIT INDONESIA (IZI)

Indonesian Zeolite Assosiation (IZA)

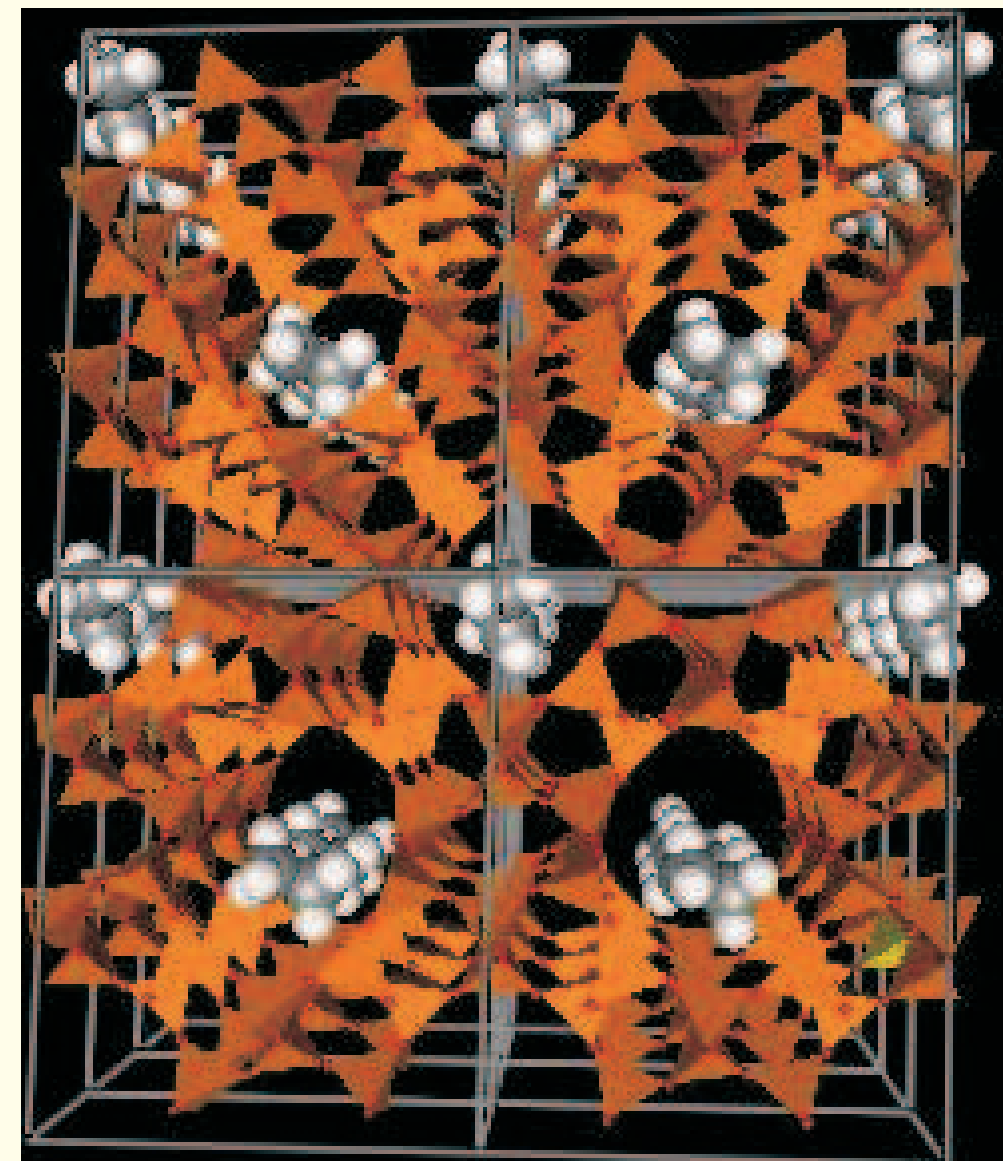
Alamat Redaksi:

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia
Telepon. (0251) 629357, Faksimili: (0251) 629357,
HP: 08129674021 email:
emails: sekretariat_izi@yahoo.com; suwardi_bogor@yahoo.com

JURNAL ZEOLIT INDONESIA
Journal of Indonesian Zeolites

Vol. 7 No. 2, November, Tahun 2008

ISSN 1411-6723

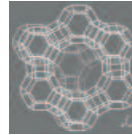


IKATAN ZEOLIT INDONESIA (IZI)
Indonesian Zeolite Assosiation (IZA)



JURNAL ZEOLIT INDONESIA

Journal of Indonesian Zeolites



Vol. 7 No. 2, November, Tahun 2008

EDITOR INTERNASIONAL :

Prof. Dr. Alan Dyer DSc. FRCC.
(University of Salford, UK)
Prof. Dr. G.Q. Max Lu

(University of Queensland, Australia)

DEWAN EDITOR :

Dr. Yateman Arryanto
Dr. Siti Amini
Dr. Suwardi
Dr. Supandi Suminta
Ir. Husaini MSc

PELAKSANA EDITOR:

Hesti Nurmayanti
Maesaroh

PIMPINAN REDAKSI/CHIEF EDITOR:

Dr. Suwardi

ALAMAT REDAKSI/ SECRETARIATE ADDRESS :

Suwardi
Departemen Ilmu Tanah dan
Sumberdaya Lahan, Fakultas
Pertanian, IPB
Jl. Meranti, Kampus IPB
Darmaga, Bogor, Indonesia
Telepon. (0251) 629357,
Faksimili: (0251) 629357,
HP: 08129674021 emails:
suwardi_bogor@yahoo.com
sekretariat_izi@yahoo.com

REKENING BANK/ BANK ACCOUNT:

BCA Cabang Bogor 0950698381

J. Zeolit Indonesia diterbitkan oleh IZI (Ikatlan Zeolit Indonesia) setahun dua kali setahun pada bulan Maret dan November, dalam versi bahasa Indonesia yang dilengkapi dengan abstrak berbahasa Indonesia dan Inggris (*abstract*) atau semua ditulis dalam versi English.

Naskah yang diterbitkan dalam Jurnal Zeolit Indonesia (JZI) ini mengandung tulisan ilmiah baik berupa tinjauan, gagasan, analisis, ilmu terapan, teknologi proses dan produksi zeolit, zeotipe atau bahan lain yang terkait dengan bahan nanopori.

Pengantar Redaksi

Jurnal yang diterbitkan oleh asosiasi profesi seperti Jurnal Zeolit Indonesia ini memperoleh perhatian khusus dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Dalam penerbitannya kali ini merupakan hasil dari Seminar Nasional Zeolit Indonesia yang ke-6 dan mencakup makalah zeolit dalam hubungannya dengan bidang pertanian dan industri. Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan bantuan dana kepada Jurnal Zeolit Indonesia untuk pengembangan jurnal ini. Kami terus berusaha untuk meningkatkan kualitas jurnal dan mendistribusikannya kepada pembaca yang lebih luas. Terima kasih.

*Salam,
Redaksi*

Editorial

Journals published by professional association such as Indonesian Zeolite Journals obtain a special attention from Directorate General of Higher Education. In this publication is result of The National Seminar Zeolite Indonesia-6th and including zeolite papers and it is relation on Agriculture and Industry. We thank Directorate General of Higher Education for the relief fund for improvement of this journal. We endeavor for improvement of the quality and wider distribution of this journal. Thank you.

*Best regards,
Editors*

Catatan Untuk Penulis:

Kontribusi naskah dapat disampaikan kepada Pimpinan Redaksi JZI, disertai lampiran surat pernyataan penulis dan pembantu penulis (jika ada) tentang keabsahan dan persetujuan bahwa isi tulisan tersebut benar-benar merupakan hasil temuan sendiri dan belum pernah dipublikasikan. Naskah yang tidak memenuhi persyaratan yang telah ditentukan Staf Editor, tidak akan dikembalikan. Komunikasi antar Penulis dengan Editor dapat diadakan secara langsung demikian pula komunikasi antara pembaca dengan penulis. Isi dan kebenaran dari makalah di luar tanggung jawab redaksi.

Tata Cara Penulisan Naskah

Naskah yang akan dimuat dalam Jurnal Zeolit Indonesia harus bersifat asli, belum pernah dipublikasikan atau diterbitkan dalam media cetak lain. Naskah ditulis secara ilmiah dan sistematika sesuai dengan panduan berikut:

Judul, Abstrak dengan kata kunci (bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris), **Isi teks** terdiri dari sub judul **Pendahuluan, Bahan dan Metoda eksperimen, Hasil dan bahasan, Kesimpulan, Ucapan Terimakasih** (kalau ada), dan **Daftar Acuan Pustaka**, dan atau Daftar Pustaka (Bibliografi) yang terkait, ditulis dengan huruf kapital Arial 10 tebal.

Format:

Naskah diketik menggunakan *Microsoft Word* atau *pdf.format* dan dicetak pada kertas HVS ukuran A4, dengan batasan sebagai berikut: Margin atas dan margin kiri masing-masing 3,2 cm, margin kanan dan bawah masing-masing 2,6 cm. Jumlah halaman **maksimum 25** halaman termasuk gambar dan tabel.

- Judul** ditulis singkat dan informatif (huruf kapital, tebal, huruf Arial ukuran 12, di posisi tengah).
- Nama penulis** (huruf normal, Arial ukuran 10, di posisi tengah), dengan catatan kaki **Alamat Penulis** yang ditulis di baris terakhir halaman tersebut. **Unit kerja penulis** ditulis di bawah penulis dengan jarak 1 spasi.
- Abstrak** (sebagai judul: ditulis dengan huruf Arial kapital 10, tebal, di tengah. Isi abstrak ditulis dengan huruf Arial 9). **Isi abstrak** ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Semua tulisan berbahasa Inggris menggunakan huruf *miring* termasuk judul makalah dalam bahasa Inggris ditulis dengan huruf miring kapital, Arial 9 tebal. Abstrak terdiri dari satu paragraf tunggal dengan jarak baris 2 spasi.
- Kata kunci** dan **key words** ditulis di bawah abstrak masing-masing, dengan huruf dan ukuran sama seperti isi abstrak.
- Isi teks** ditulis dengan huruf Arial 10 dengan spasi 2 dan dibagi 2 kolom dengan jarak antar kolom 1 cm. Antar sub-judul dengan baris pertama alinea atau antar alinea diberi jarak spasi-2 menggunakan format **justify**.
- Gambar dan Tabel** ditulis menggunakan perangkat lunak yang kompatibel dengan *Microsoft Word*, dicetak dengan huruf **jelas** berkualitas tinggi, dan pada lembar terpisah.
- Daftar Acuan **Pustaka** ditulis berdasarkan nomor urut di dalam isi teks dengan angka dalam kurung [] dan sesuai dengan nomor daftar acuannya. Cara penulisan pustaka meliputi: Nama semua penulis, Tahun, Judul tulisan, Nama buku atau majalah, Volume, Nomor, dan Nomor halaman.
- Makalah yang diterima harus dilengkapi dengan disket file dokumennya, dan diserahkan kepada pimpinan redaksi.

Instructions for Authors

Journal of Indonesian Zeolites is the journal providing communication among users, potential users and person otherwise interested in topics such as zeolites and zeotypes microporous and nanoporous materials including reviews, articles, reports characterizations, analyses, modification and synthesizing process technology, its products and their usage, development of materials applications.

Manuscript should contain the original reviews, experimental results or ideas written in English or Indonesian systematically, and it has not been published in any other publications. It contains of **Title, Abstract** with appropriate key words and **Full Text** which cover sub-titles of **Introduction, Experimental methods, Result and Discussion, Conclusion, Acknowledgment** (if it's necessary), **References**, and related **Bibliography**, which are respectively written using bold capital Arial 10 font.

Format:

The manuscript should be written on A4 paper size using the Microsoft Word or pdf format, with the top and left margin of 3.2 cm, and the right and bottom margin of 2.6 cm. The maximum total pages are not exceeded from 25 pages include figures and tables.

- Title**, use a brief and informative (Capital Arial-12 **bold** font, and center).
- Authorship**, provide full names of authors and the name of institutions where the work is completed. Use the footnote for the addresses of all authors on the last line of the first full page.
- Abstract** as a title is written in Arial 10 capital bold and centre. The contents of abstract is written in normal font Arial 9, containing of a paragraph using a double spaced line.
- Key words** written using the same fonts as in Abstract.
- Full Text** is written using Arial 10 font and double spacing line with **justify** align with two column format, with column space of 1 cm. Between sub-title and the first line of the paragraph or between paragraphs should use a double spacing line.
- Figures and Tables** should be done using the Microsoft Word compatible software, and printed with clearly high quality printing on separated sheets.
- Reference** to other work should be numbered consequently and indicated by superscript number in the text corresponding to that in the reference list. It covers The name of all authors, Title, Name of Book or Journal/ Publication, Volume and Number Year (in the bracket) and numbers of pages of publication.
- The accepted manuscript should be completed with document file and submitted to the Chief Editor.

PENGOLAHAN LIMBAH URANIUM MENGUNAKAN ALUMINO SILIKO FOSFAT

Aisyah, Herlan Martono, Wati

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: aisyah@batan.go.id

ABSTRAK

Limbah uranium ditimbulkan dari kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir dalam bidang produksi radioisotop, produksi bahan bakar nuklir, pengujian bahan bakar paska iradiasi dan dalam proses pemurnian uranium dari yellow cake. Uranium merupakan radionuklida berumur panjang dan berbahaya jika masuk kedalam tubuh manusia sehingga memerlukan pengolahan yang tepat dengan keselamatan yang tinggi. Pengolahan dilakukan dengan cara memisahkan uranium yang terkandung dalam limbah dengan proses pertukaran ion. Uranium yang telah terpisah kemudian diimobilisasi dengan polimer. Telah dilakukan penelitian pengolahan limbah uranium simulasi menggunakan Alumino Siliko Fosfat (ASP). Limbah uranium simulasi dengan konsentrasi 0,05 g/l dikontakkan dengan ASP dengan parameter waktu kontak dan pH. Alumino Siliko Fosfat jenuh uranium kemudian diimobilisasi dengan polimer resin epoksi dengan parameter jumlah kandungan limbah. Imobilisasi dilakukan dengan mencampur ASP jenuh uranium dengan resin epoksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi ASP terbaik diperoleh pada perbandingan 1:1, waktu kontak 15 menit dan pH 7, dengan penyerapan uranium sebesar 93,5 %. Karakteristik polimer-limbah hasil imobilisasi menunjukkan bahwa kandungan limbah yang optimal adalah 20 % berat dengan densitas 1,0538 g/cm³; kuat tekan 19,96 kN/cm² dan tidak terdeteksi adanya pelindihan uranium yang keluar dari polimer-limbah. Dengan demikian ASP dapat digunakan dalam pengolahan limbah uranium dan dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif.

Kata kunci: Limbah uranium, zeolit, Alumino Siliko Fosfat, imobilisasi

ABSTRACT

PROCESSING OF URANIUM WASTE USING ALUMINA SILICA PHOSPHATE. Uranium waste generated from the utilization of nuclear technology on radioisotope production, nuclear fuel production, calibration of fuel post-irradiation, and the purification of uranium from yellow cake. Uranium is a long-lived radionuclides and hazardous if it was entered in human body, thus requiring appropriate treatment with high safety. The processing conducted by separated the uranium which was contained on waste with ions exchange process. Uranium has been separated, later then immobilized with the polymer. The study of simulation uranium waste processing using an Alumina Silica Phosphate (ASP) has been conducted. Simulation uranium waste with the concentration of 0,05 g/l was contacted to ASP with contact timer and pH as a parameters. The Alumina Silica Phosphate which saturated with uranium, later then immobilized with epoxy resin polymer by total of waste contents as a parameter. The immobilization was conducted by mixing ASP which saturated with uranium and epoxy resin. The study showed that the best composition of ASP was obtained at the ratio of 1:1, contact time of 15 minute, and pH of 7 with absorption of uranium about 93,5%. The characteristic of polymer and the immobilization waste showed that optimum of waste content is 20% of weight with the density of 1,0538 g/cm³; compressive strength of 19,96 kN/cm² and there was not detected the leaching of uranium which out from the polymer-waste. Therefore, ASP can be used on processing of uranium waste and could be suggested to be applied on Radioactive Waste Management Installation.

Keywords: uranium waste, zeolite, alumina silica phosphate, immobilization

PENDAHULUAN

Konsekuensi dari pemanfaatan teknologi nuklir dalam berbagai bidang yaitu timbulnya limbah radioaktif dimana limbah ini memerlukan pengelolaan yang baik agar aman bagi manusia dan lingkungan. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) adalah salah satu instansi pemerintah yang

memanfaatkan teknologi nuklir dalam berbagai bidang, diantaranya dalam bidang produksi radioisotop, produksi bahan bakar nuklir, pengujian bahan bakar paska iradiasi dan dalam proses pemurnian uranium dari yellow cake.

Dalam produksi radioisotop Mo⁹⁹, akan menimbulkan limbah radioaktif yang

mengandung uranium (U^{235} dan U^{238}), hasil belah dan radionuklida transuranium [1]. Limbah radioaktif yang ditimbulkan dari produksi bahan bakar nuklir merupakan limbah korosif yang mengandung uranium dan HF, sedangkan limbah radioaktif yang ditimbulkan dari laboratorium pengujian bahan bakar paska iradiasi mengandung uranium, hasil belah dan radionuklida transuranium. Pada proses pemurnian uranium dari *yellow cake* akan ditimbulkan limbah radioaktif (rafinat) yang banyak mengandung uranium [2,3]. Limbah yang mengandung uranium tersebut berbahaya bagi kesehatan jika masuk ke dalam tubuh dengan resiko kerusakan ginjal, kanker (hati, paru-paru, tulang, dan darah). Penghirupan uranium juga dapat meningkatkan resiko terkena kanker paru-paru. Hal ini telah banyak di buktikan bahwa radon beserta turunannya yang berasal dari U^{238} dapat menyebabkan penyakit kanker paru-paru jika konsentrasi gas radon beserta anak luruhnya cukup tinggi. Oleh karena itu, limbah yang mengandung uranium ini memerlukan pengolahan dengan tingkat keselamatan yang tinggi agar tidak menimbulkan dampak radiologis pada masyarakat dan lingkungan [4,5].

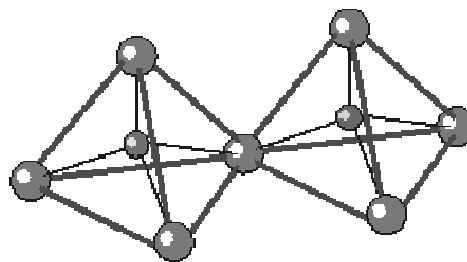
Limbah uranium yang ditimbulkan dari pemanfaatan teknologi nuklir di BATAN mempunyai konsentrasi uranium yang berbeda-beda tergantung dari jenis prosesnya. Untuk limbah yang mengandung kadar uranium yang cukup tinggi maka terlebih dahulu dilakukan pengambilan uranium yang terdapat dalam limbah sebelum limbah dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) untuk dilakukan pengelolaan.

Terdapat beberapa metode pengolahan limbah uranium, diantaranya adalah pengolahan secara kimia (koagulasi dan flokulasi), evaporasi, dan melalui proses pertukaran ion. Beberapa bahan yang dapat dipakai sebagai penukar ion dalam pengolahan limbah uranium diantaranya adalah resin, zeolit, maupun zeolit modifikasi.

Mineral alam zeolit merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar, banyak terdapat di Indonesia dan harganya murah. Mineral zeolit mempunyai struktur "framework" tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, "molecular sieving" dan katalis sehingga memungkinkan digunakan dalam pengolahan limbah industri dan limbah nuklir [6].

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan menyerap air secara reversibel [6].

Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot a \cdot SiO_2 \cdot b \cdot H_2O$ atau $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} \cdot b \cdot H_2O$. Dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau SiO_2/Al_2O_3 bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisis komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisis strukturnya. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $(AlO_4)^{5-}$ dan $(SiO_4)^{4-}$ yang saling berhubungan melalui atom oksigen dan di dalam struktur tersebut Si^{+4} dapat diganti Al^{+3} dengan substitusi isomorfik [7]. Gambar 1 menunjukkan Tetrahedra alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit.



Gambar 1. Tetrahedra alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit [7]

Zeolit mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) selektif tinggi yang membuatnya cocok untuk pemakaian beragam. Penggunaan zeolit yang didasarkan atas sifat KTK antara lain adalah pengolahan limbah nuklir, pengolahan limbah metalurgi, budidaya air dan lainnya. Jenis kation yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cations*) yang terdapat di dalam zeolit perlu diketahui. Hal ini disebabkan jenis kation yang berbeda dalam mineral zeolit yang sama akan memberikan sifat fisika dan kimia yang berbeda dan yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap penggunaannya [7,8].

Zeolit alam dapat dimodifikasi menjadi penukar ion ganda bentuk alumino-siliko-fosfat (ASP) melalui reaksi pemanasan zeolit dengan amonium dihidrogen fosfat (ADHP).

Penukar ion ASP mempunyai kestabilan terhadap suhu yang cukup tinggi ($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$) sehingga dapat digunakan secara langsung pada proses pemisahan pada suhu tinggi. Oleh karena itu, keunggulan ASP adalah disamping tetap mempunyai serapan terhadap logam berat dan radionuklida yang cukup tinggi seperti pada zeolit murni, bentuk ASP mempunyai kemampuan serapan terhadap anion^[8,9,10].

Pada umumnya Alumino Siliko Fosfat (ASP) digunakan untuk penukar anion. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pada awalnya uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)$) dikomplekskan dengan Na_2CO_3 sehingga akan membentuk kompleks uranil karbonat $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{-4}$ sehingga dapat diserap oleh ASP. Namun bentuk ion $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{-4}$ ini terlalu besar sehingga tidak masuk dalam range pori ASP^[7,11].

Disamping itu, ASP juga memiliki bagian yang positif (penukar kation) dan bagian yang negatif (penukar anion). Dalam percobaan pendahuluan diperoleh bahwa ternyata uranium yang diserap ASP kapasitasnya lebih besar dalam bentuk UO_2^{2+} daripada dalam bentuk $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{-4}$ sehingga dalam penelitian ini dilakukan penyerapan uranium dalam bentuk UO_2^{2+} .

Pemanfaatan ASP dalam pengolahan limbah uranium dilakukan dengan memanfaatkan proses pertukaran ion yang dimiliki oleh ASP. Dalam proses pertukaran ion ini uranium akan terikat dalam ASP hingga ASP mengalami kejenuhan. Alumino siliko fosfat yang telah jenuh uranium selanjutnya memerlukan imobilisasi dengan bahan matriks untuk mengungkung radionuklida uranium yang telah terikat didalamnya.

Uranium merupakan radionuklida pemancar alfa dengan waktu paro yang panjang, sehingga bahan matriks yang cocok untuk imobilisasi adalah polimer^[12,13]. Resin epoksi merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan sebagai material struktur. Material ini terbentuk dari reaksi antara epiklorohidrin dengan bifenil propana

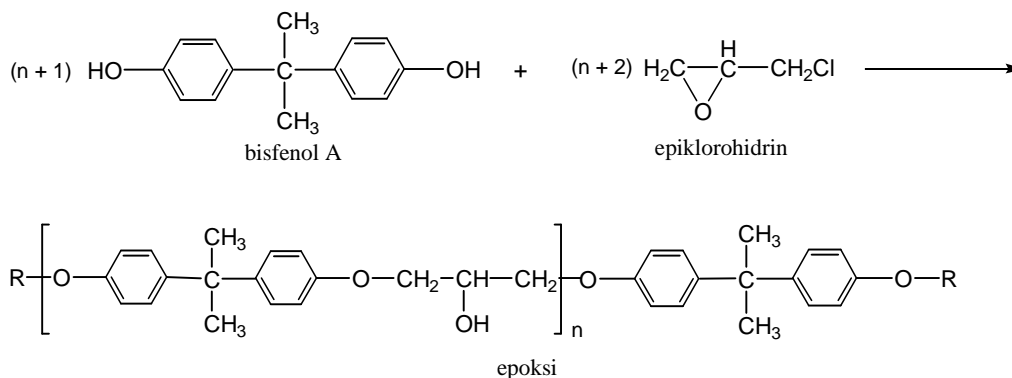
(bisfenol A), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2^[14,15].

Resin epoksi memiliki sifat yang unggul, diantaranya sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan kimia, adesif dan mudah diproses. Berdasarkan pada keunggulan ini resin epoksi dipilih untuk imobilisasi limbah *trans uranium*. Terdapat beberapa jenis resin epoksi yang terdapat di pasaran dengan karakteristik yang berbeda-beda. Pada penelitian ini dipilih resin epoksi jenis EPOSIR 7120 yang biasa digunakan sebagai material standar dalam bahan struktur. Pertimbangan pemilihan EPOSIR 7120 ini karena harganya murah, selain itu mampu membentuk bahan keras dengan campuran air dalam jumlah terbatas.

Guna memenuhi standar keselamatan dan faktor ekonomi maka polimer-limbah (campuran resin epoksi, hardener, ASP jenuh uranium) hasil imobilisasi harus memiliki karakteristik tertentu, diantaranya densitas, kuat tekan dan laju pelindihan yang baik^[16].

Densitas perlu diperhatikan dalam proses imobilisasi karena densitas menjadi pertimbangan dalam perancangan sistem transportasi dan tempat penyimpanan sementara maupun tempat penyimpanan lestari limbah radioaktif. Hasil imobilisasi limbah dengan densitas yang besar tentunya akan dapat menampung limbah lebih banyak sehingga dapat menghemat lahan tempat penyimpanan^[17].

Kuat tekan polimer-limbah hasil imobilisasi merupakan parameter penting untuk mengevaluasi efek bila bahan jatuh atau mengalami benturan. Untuk menjamin keselamatan penanganan, transportasi, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari limbah radioaktif, maka kuat tekan harus diperhitungkan dengan baik, sehingga apabila bahan terjatuh atau mengalami benturan tidak menimbulkan kerusakan yang serius, ataupun untuk mengukur seberapa jauh bahan mampu menahan beban tumpukan dalam tempat penyimpanan sementara maupun penyimpanan lestari^[17].



Gambar 2. Pembentukan epoksi oleh reaksi bisfenol A dan epiklorohidrin ^[14,15]

Laju pelindihan adalah besaran untuk menggambarkan kemampuan polimer-limbah hasil imobilisasi terhadap pelarutan air. Hal ini penting guna mencegah terlepasnya radionuklida yang telah terikat dalam matriks keluar ke lingkungan sebelum waktunya sehingga dapat menimbulkan dampak radiologis pada masyarakat ^[17].

Dalam penelitian ini, digunakan limbah simulasi yang mengandung uranium dengan konsentrasi 0,05 gram/liter. Penentuan konsentrasi uranium dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-VIS dengan pengompleks arsenazo III. Percobaan penyerapan uranium oleh ASP dilakukan dengan mengkontakkan limbah uranium simulasi dengan ASP, dengan parameter waktu kontak dan pH. Kesempurnaan reaksi dalam proses penyerapan uranium oleh ASP akan dipengaruhi oleh lamanya waktu kontak dan pH proses. Untuk waktu kontak dan pH yang tepat akan terjadi reaksi yang sempurna, sehingga akan diperoleh penyerapan uranium yang optimal. Hal ini berarti secara ekonomi proses akan lebih efektif. Alumino Siliko Fosfat yang telah jenuh uranium diimobilisasi dengan polimer resin epoksi. Karakteristik polimer-limbah hasil imobilisasi akan dipengaruhi oleh kandungan limbah. Kandungan limbah yang semakin besar tentunya akan lebih ekonomis karena polimer-limbah dapat mengungkung limbah sebanyak-banyaknya. Namun demikian, kandungan limbah yang semakin besar dapat menurunkan kualitas polimer limbah hasil imobilisasi, yaitu radionuklida yang terkungkung dalam polimer-limbah akan lebih mudah terlindih keluar. Karakteristik polimer-limbah yang dipelajari adalah pengaruh kandungan limbah terhadap densitas, kuat tekan dan laju pelindihan. Penentuan densitas dilakukan dengan menimbang polimer-limbah dan menentukan volume berdasarkan diameter dan tingginya yang

berbentuk silinder, sedangkan kuat tekan ditentukan dengan alat uji tekan PAUL WEBER. Laju pelindihan ditentukan dengan metode uji pelindihan dipercepat menggunakan alat soklet dengan media pelindih air pada suhu 100 °C.

METODE PENELITIAN

Bahan

Dalam penelitian ini digunakan bahan : zeolit lampung (40-60 mesh), uranil nitrat heksahidrat $\{UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O\}$, metil iodida (CH_3I), NaCl jenuh, ammonium dihydrogen fosfat (ADHP), air bebas mineral, polimer (resin epoksi) EPOSIR 7120.

Metode

Pembuatan Zeolit Murni

Pembuatan zeolit murni dilakukan dengan merefluks zeolit alam dengan air bebas mineral selama 3 x 8 jam, hal ini untuk menghilangkan garam terlarut yang tercampur. Dilakukan penggantian air bebas mineral setiap 8 jam. Zeolit yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Untuk memisahkan zeolit dari partikel/mineral berat dilakukan dengan penambahan metil iodida (CH_3I), sehingga zeolit yang telah bebas dari mineral berat (seperti silikat) akan mengapung di bagian atas dalam cairan metil iodida. Zeolit dipisahkan dari mineral berat, sehingga diperoleh zeolit murni yang masih dalam bentuk multi kation ^[8].

Pembuatan Alumino Siliko Fosfat (ASP)

Alumino Siliko Fosfat (ASP) merupakan modifikasi zeolit yang dibuat dengan mencampur zeolit murni dengan ammonium

dihidrogen fosfat (ADHP) pada berbagai perbandingan berat 1:5, 1:1, dan 5:1. Campuran diaduk dan dipanaskan dalam oven pada suhu 235 °C selama 30 menit untuk proses peleburan. Campuran diaduk kembali dan dipanaskan kembali selama 4 jam. Campuran kemudian dituang ke dalam air mendidih dan disaring. Setelah penyaringan, dilakukan pencucian dengan air panas hingga bebas amonium. Pengeringan ASP dilakukan dalam oven pada suhu 80 °C dan ASP siap digunakan untuk proses penyerapan limbah uranium^[10].

Penentuan Komposisi ASP

Dalam penelitian ini digunakan limbah simulasi dengan konsentrasi 0,05 g/l, yang dibuat dengan cara melarutkan uril nitrat heksahidrat dalam air bebas mineral. Percobaan dilakukan dengan cara mencampur 250 ml larutan limbah simulasi dengan 0,25 gram ASP dengan berbagai komposisi yaitu ASP 1:5; 1:1 dan 5:1 dan 250 ml air. Campuran diputar (*rolling*) selama 2 jam, kemudian dilakukan analisis kadar uranium dalam beningan dengan metode spektrofotometri UV-VIS menggunakan pengompleks arsenazo III. Penyerapan uranium tertinggi merupakan komposisi ASP terbaik dan akan digunakan dalam percobaan selanjutnya .

Penyerapan Uranium Oleh ASP

Dalam penelitian ini parameter yang dipelajari adalah waktu kontak dan pH terhadap penyerapan uranium oleh ASP komposisi terbaik. Digunakan limbah simulasi dengan konsentrasi uranium 0,05 g/l.

Percobaan dengan parameter waktu kontak dilakukan dengan cara mencampur 250 ml larutan limbah simulasi dengan 0,25 gram ASP terbaik dan 250 ml air. Campuran di *rolling* dengan waktu kontak 4, 8, 12, 16, 20, dan 24 menit. Dari masing-masing sampel di analisis kadar uranium dalam beningannya dengan metode spektrofotometri UV-VIS menggunakan pengompleks arsenazo III. Penyerapan uranium yang optimal merupakan waktu kontak terbaik dan akan digunakan dalam percobaan selanjutnya.

Percobaan dengan parameter pH larutan limbah simulasi dilakukan dengan cara mencampur 250 ml larutan limbah simulasi dengan pH 3, 5, 7, 9, dan 11 dengan 0,25 gram ASP terbaik dan 250 ml air dalam botol. Campuran di *rolling* dengan waktu kontak

terbaik. Dari masing-masing sampel di analisis kadar uranium dalam beningannya dengan metode spektrofotometri UV-VIS menggunakan pengompleks arsenazo III. Penyerapan uranium yang optimal merupakan kondisi pH terbaik dan akan digunakan dalam percobaan selanjutnya.

Imobilisasi ASP Jenuh Uranium

Imobilisasi ASP jenuh uranium menggunakan polimer resin epoksi dilakukan dengan parameter kandungan limbah. Percobaan dilakukan dengan cara mencampur resin epoksi (rasio resin epoksi dan hardener 2:1) dengan ASP jenuh uranium dengan kandungan limbah 0, 10, 20, 30, 40, dan 50% berat. Campuran diaduk sampai homogen dan dicetak dalam cetakan silindris dengan diameter 25 mm dan tinggi 20 mm dan dibiarkan mengeras dengan waktu *curing* 8 – 12 jam. Polimer-limbah (campuran resin epoksi, hardener dan ASP jenuh uranium) yang telah mengeras selanjutnya dilakukan pengujian karakteristiknya.

Pengujian Karakteristik Polimer-Limbah Hasil Imobilisasi^[18,19]

Karakteristik polimer-limbah yang diuji adalah densitas, kuat tekan dan laju pelindihan. Densitas polimer-limbah ditentukan dengan menimbang dan mengukur volume berdasarkan diameter dan tinggi polimer-limbah yang berbentuk silinder dan kemudian dihitung dengan persamaan 1:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1) \quad \text{Dimana: } \rho: \text{ densitas (g/cm}^3\text{),}$$

m : massa polimer-limbah (g)
 v : volume polimer-limbah (cm³)

Kuat tekan polimer-limbah ditentukan menggunakan alat uji tekan Paul Weber dengan cara menekan polimer limbah yang berbentuk silindris sampai retak/pecah, kemudian dihitung dengan persamaan 2:

$$\sigma_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2) \quad \text{Dimana: } \sigma_r = \text{kuat tekan}$$

(kN/cm²), P_{maks} = beban tekanan maksimum (kN) dan A = luas penampang (cm²).

Laju pelindihan dilakukan menurut *Japan Industrial Standard* (JIS) , yaitu laju pelindihan *dipercepat* dalam medium air. Polimer-limbah dalam bentuk silinder dengan diameter 25 mm dan tinggi 20 mm dimasukkan dalam basket dan dipasang pada

alat *soxhlet* untuk direfluks dengan air bebas mineral pada suhu 100°C selama 24 jam. Laju pelindihan dihitung berdasarkan persamaan 3:

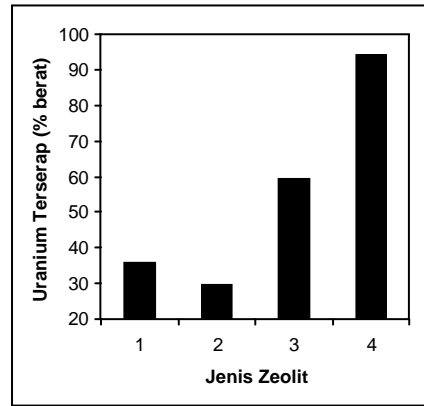
$$L = W/S.t \quad (3)$$

Dimana: L: laju pelindihan ($\text{g cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$), S: luas permukaan contoh (cm^2), W: berat uranium dalam polimer-limbah yang terlindih (g), t: waktu pelindihan (hari).

HASIL DAN PEMBAHASAN

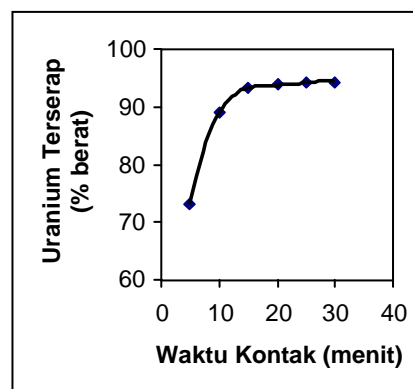
Hasil penelitian disajikan pada Gambar 3, 4, 5, 6 dan 7. Kemampuan penyerapan beberapa jenis ASP terhadap uranium disajikan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 tampak bahwa ASP memiliki kemampuan penyerapan uranium lebih tinggi bila dibandingkan dengan zeolit alam. Hal ini karena ASP telah mengalami proses penghilangan kotoran-kotoran yang terdapat pada zeolit alam. Adanya pengotor-pengotor pada zeolit alam akan mengganggu proses penyerapan. Pada komposisi ASP 1:5 penyerapannya lebih kecil dibandingkan dengan zeolit alam. Hal ini karena jumlah zeolit murni lebih sedikit dari ADHP, sehingga pertukaran ion yang terjadi kurang baik. Sebagian atom fosfat (P) menggantikan posisi Si tanpa merubah bentuk sangkar yang disebut *isomorfos replacement* (pergantian tetrahedral tanpa merusak struktur yang lain). Muatan atom P adalah negatif karena di paksa bertangan empat, sedangkan atom Al lebih stabil jadi tidak bisa digantikan oleh atom apapun. Pada Al inilah ion alkali dan alkali tanah menempel, dalam hal ini adalah Na^+ , karena penyusun zeolit jenis clinoptilolit adalah ion Na^+ . Kedudukan Na^+ inilah yang kemudian digantikan oleh UO_2^{+2} . Alumino siliko fosfat dengan komposisi 1:1 memiliki kemampuan serapan paling tinggi yaitu 94,2 % berat. Hal ini karena perbandingan zeolit murni dan ADHP telah seimbang. Oleh karena itu ASP 1:1 inilah yang dipakai pada percobaan selanjutnya, yaitu dengan parameter waktu kontak, pH dan percobaan imobilisasi.



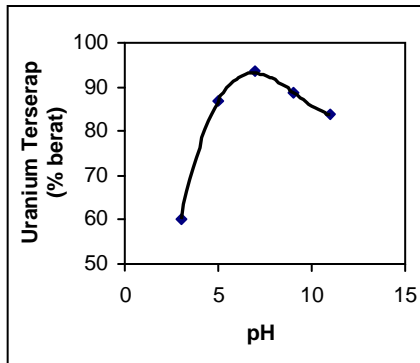
Gambar 3. Pengaruh komposisi ASP terhadap penyerapan uranium (1) zeolit alam; 2) ASP 1:5; 3) ASP 5:1; dan 4) ASP 1:1)

Gambar 4 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan uranium oleh ASP. Dari Gambar 4 tampak bahwa semakin bertambahnya waktu kontak maka jumlah uranium yang terserap oleh ASP (ASP 1:1) akan semakin meningkat. Setelah waktu kontak 15 menit, peningkatan penyerapan uranium tidak signifikan. Pada waktu kontak 15 menit penyerapan uranium sebesar 93,2% berat, sedangkan jika dilihat pada Gambar 3 bahwa untuk waktu kontak yang lebih lama yaitu 2 jam jumlah penyerapan uranium tidak jauh berbeda yaitu 94,2% berat. Dengan demikian untuk efisiensi proses pengolahan limbah uranium maka diambil waktu kontak 15 menit, dimana pada kondisi tersebut diperoleh penyerapan uranium yang optimal.



Gambar 4. Pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan uranium oleh ASP

Gambar 5 menunjukkan pengaruh pH terhadap penyerapan uranium oleh ASP. Seperti diketahui bahwa karakteristik limbah radioaktif yang dihasilkan dari setiap fasilitas nuklir akan berbeda, sehingga dapat menghasilkan penyerapan uranium yang berbeda pula.



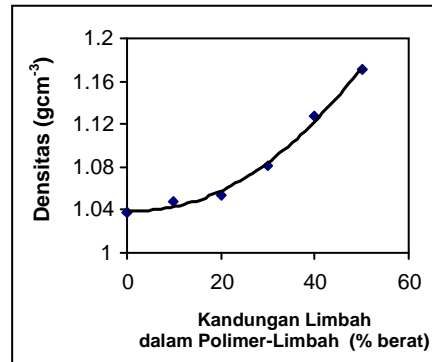
Gambar 5. Pengaruh pH limbah terhadap penyerapan uranium oleh ASP

Dari Gambar 5 tampak bahwa penyerapan uranium oleh ASP (ASP 1:1) meningkat dengan naiknya pH sampai dengan 7, sedangkan pada kenaikan pH lebih lanjut akan terjadi penurunan penyerapan uranium. Hal ini terjadi karena adanya perubahan spesiasi ion uranium dalam larutan. Diantaranya adanya kemungkinan terjadinya proses presipitasi/kopresipitasi, maupun adanya pembentukan spesi yang kurang kompetitif untuk terjadinya serapan. Untuk pH larutan yang terlalu asam akan menyebabkan terjadinya pelarutan uranium, sedangkan jika pH larutan terlalu basa maka akan terjadi pengendapan uranium. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa pH netral merupakan pH optimum ASP untuk menyerap uranium. Kondisi optimum diperoleh pada pH 7 dengan penyerapan uranium 93,5 % berat.

Berdasarkan parameter waktu kontak dan pH, maka diperoleh penyerapan uranium optimum dalam bentuk UO_2^{+2} oleh ASP 1:1 pada waktu kontak 15 menit dan pH 7 dengan uranium yang terserap 93.5 % berat.

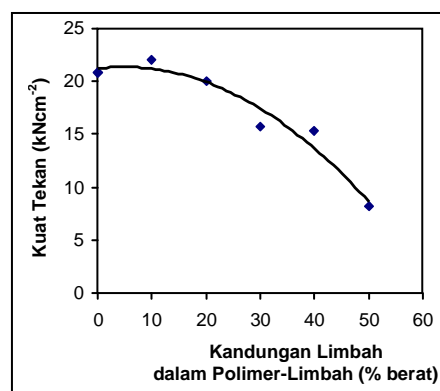
Pengaruh kandungan limbah dalam polimer-limbah terhadap densitas disajikan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 tampak bahwa densitas meningkat dengan bertambahnya kandungan limbah dalam polimer-limbah, hal ini karena jumlah ASP (ASP 1:1) dalam polimer-limbah juga semakin besar. Alumino siliko fosfat mengandung atom-atom yang massanya lebih besar dibandingkan dengan

polimer, sehingga dengan bertambahnya kandungan limbah berarti bertambah pula atom-atom dengan massa yang lebih besar yang akan menaikkan nilai densitasnya.



Gambar 6. Pengaruh kandungan limbah dalam polimer-limbah terhadap densitas

Pengaruh kandungan limbah dalam polimer-limbah terhadap kuat tekan disajikan pada Gambar 7. Dari Gambar 7 tampak bahwa kuat tekan semakin menurun dengan naiknya kandungan limbah dalam polimer-limbah. Polimer resin epoksi merupakan polimer dengan struktur linier. Adanya prosentase kandungan limbah yang semakin besar menjadikan prosentase polimer semakin kecil. Ini berarti rantai polimer yang terbentuk semakin pendek, sehingga tidak cukup untuk mengungkung limbah. Hal ini mengakibatkan kuat tekannya semakin rendah. Kuat tekan yang optimal adalah 22,01 kN/cm² untuk kandungan limbah 10 % berat.



Gambar 7. Pengaruh kandungan limbah dalam polimer-limbah terhadap kuat tekan

Pada kandungan limbah 0 % (tanpa ASP) memiliki kuat tekan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan polimer limbah dengan kandungan limbah 10 % berat. Penambahan ASP kedalam polimer akan membentuk komposit yaitu suatu campuran material yang masih nampak sifat komponen penyusunnya. Komposit yang terdiri dari polimer dan ASP ini memiliki sifat yang saling menguatkan. Kandungan ASP pada kandungan limbah 10 % berat menjadi penguat pada polimer-limbah hasil imobilisasi, sehingga kuat tekannya lebih besar jika dibandingkan dengan polimer limbah dengan kandungan limbah 0 %. Kenaikan kandungan limbah lebih lanjut mengakibatkan kuat tekan menurun. Hal ini sejalan dengan menurunnya prosentase polimernya. Namun demikian untuk kandungan limbah 20 % berat memiliki kuat tekan yang masih cukup baik dan memenuhi persyaratan. Hal ini sejalan dengan pertimbangan ekonomi dalam pengolahan limbah radioaktif bahwa jika kandungan limbah 10 % berat maka proses pengolahan limbah menjadi tidak ekonomis.

Uji pelindungan terhadap polimer-limbah hasil imobilisasi menunjukkan hasil yang tidak signifikan terhadap adanya pelindungan uranium keluar dari polimer-limbah hasil imobilisasi. Hal ini terjadi karena uranium telah diikat oleh 2 material yaitu ASP dan polimer sehingga uranium telah terkungkung cukup kuat dalam polimer- limbah.

Berdasarkan pertimbangan faktor keselamatan lingkungan (laju pelindungan), densitas, kuat tekan dan faktor ekonomi maka polimer-limbah hasil imobilisasi yang optimal diperoleh pada kandungan 20 % berat dengan densitas $1,0538 \text{ g/cm}^3$, kuat tekan $19,96 \text{ kN/cm}^2$ dan tidak terdeteksi adanya uranium yang terlindih.

KESIMPULAN

Pengolahan limbah uranium dilakukan menggunakan ASP. Penyerapan uranium oleh ASP lebih besar dalam bentuk UO_2^{2+} dari pada dalam bentuk $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{-4}$, sehingga dalam penelitian ini dilakukan penyerapan uranium dalam bentuk UO_2^{2+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi ASP terbaik diperoleh pada perbandingan 1:1, waktu kontak 15 menit dan pH 7 dengan penyerapan uranium sebesar 93,5 % berat. Karakteristik polimer-limbah hasil imobilisasi menunjukkan bahwa kandungan limbah dalam polimer-limbah yang optimal adalah 20 % berat dengan

densitas $1,0538 \text{ g/cm}^3$, kuat tekan $19,96 \text{ kN/cm}^2$ dan tidak terdeteksi adanya pelindungan uranium keluar dari polimer-limbah. Dengan demikian ASP dapat digunakan dalam pengolahan limbah uranium dan dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR).

DAFTAR PUSTAKA

1. De Villiers, W. Van Zyl., 1995, The Production of Fission ^{99}Mo and Management of The Resultant Waste, IAEA- RTC on Management of Low Level Radioactive Waste from Hospital and Other Nuclear Applications, Pretoria, South Africa, 27 June-13 July.
2. Basabilvazo, S. Countiss, et.all., 2002, Technological Enhancements for Optimizing The TRU Waste Management System, Waste Management '02 Conference, Tucson,.
3. International Atomic Energy Agency, 1999, Minimization of Waste from Uranium Purification, enrichment and Fuel Fabrication, IAEA- TECDOC -1115, Vienna.
4. International Atomic Energy Agency, 2001, Handling and Processing of Radioactive Waste From Nuclear Applications, Technical Series Report No. 402 A, IAEA, Vienna.
5. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, 2006, Laporan analisis Keselamatan Rev.5, PTLR, Serpong.
6. Bell, R. G., 2001, What are zeolites? URL: <http://www.bza.org/zeolites.html>
7. Las. T, 1995, Zeolite for Radioactive Waste Treatment, Techical Report, IAEA-RC No 7215/R2/RB, China.
8. Las, T. Dan Gunandjar, 1999, Pemanfaatan Mineral Alam Zeolit Untuk Mendukung Pelestarian Lingkungan, Prosiding Seminar Teknologi Pengolahan Limbah II, 195-202, BATAN, Serpong.
9. Sherman, J, D, 1999, Synthetic Zeolites and Other Microporous Oxide Molecular Sieves, Colloquium Paper Proc. Natl. Acad. Sci. Vol. 96, p. 3471-3478,
10. Pratomo, B.S., dkk., 1997, Alumino-Siliko-Fosfat (ASP) Sebagai Modifikasi Zeolit", Buletin LIMBAH, Volume 2 No.2, hal.13-20, Serpong.

11. Arnelli, dkk., 1999, Kegunaan Zeolit Termodifikasi Sebagai Penyerap Anion. Laporan Penelitian UNDIP, Semarang.
12. K. Sakr, et.all., 2003, Immobilization of Radioactive Waste in Mixture of Cement, Clay and Polymer, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.256 No.2, Cairo.
13. E. W. Holtzcheiter, John R. Harbow, 1998, Immobilization and Waste Form Product Acceptance for Low Level and TRU Waste Forms, Proceeding of International Conference on Decommissioning and Decontamination on Nuclear, Colorado.
14. James E. Mark, 2006, Physical Properties of Polymers Handbook, 2nd ed, New York.
15. Joel R. Fried, 1995, "Polymer Science and Technology". Prentice-Hall Inc. USA,
16. International Atomic Energy Agency, 1997, Characterization of Radioactive Waste Form and Packages, Technical Report Series No. 383, laea,Vienna.
17. International Atomic Energy Agency,2007, Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA- TECDOC -1537, Vienna.
18. Dan Camphell, Richard A. Petrick, Jun R. White, 2000, Polymer Characterization: Physical Techniques, 2nd ed., Oxford University Press, New York.
19. Asm, Handbook, 1992, vol. 10 : Materials Characterization, 9th ed, ASM, USA.

POTENSI ZEOLIT DI INDONESIA

Kusdarto

Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi
Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral
Sukarno-Hatta 444, Bandung, Indonesia, Tel. (022) 5231860 & 5226264,
Fax (022) 5231860 & 5205809, Email: kusdarto_ato1@yahoo.com

ABSTRAK

Zeolit adalah salah satu komoditas mineral non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator. Mineral-mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi, proses diagenesis, dan proses hidrotermal. Indonesia berada dalam wilayah rangkaian gunung api mulai dari Sumatera, Jawa, Nusatenggara, sampai Sulawesi. Salah satu produk dari gunungapi berupa tuf yang tersebar luas mengikuti jalur gunung api tersebut dan sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses ubahan atau diagenesis menjadi zeolit. Oleh karena itu, secara geologi Indonesia berpotensi besar menghasilkan zeolit seperti yang terdapat di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi dengan sumberdaya 447.490.160 ton.

Kata Kunci: Penukar ion, katalisator, sumberdaya

ABSTRACT

POTENCY OF ZEOLITE IN INDONESIA. Zeolite is one of non-metallic minerals or multi-use industrial minerals due to its physical and chemical characteristic as an absorbent, ion exchange, molecular filters and as a catalyst. Minerals in zeolite group are generally found in tufa rocks formed from volcanic-ash sediments resulting from alteration, diagenesis, and hydrothermal processes. Indonesia is laid in the volcanic series from Sumatra, Java, Nusa Tenggara, until Sulawesi Islands. One of the products of volcanic tuff wide spreading form the volcano, partially or wholly have undergone a process of alteration or diagenesis to become zeolite. Geologically, Indonesia has big potential to produce zeolites such as those found in Lampung, West Java, Central Java, East Java, East Nusa Tenggara, and Sulawesi, with the estimate resources of 447,490,160 tons.

Keywords: ion exchange, catalyst, resource

PENDAHULUAN

Zeolit adalah kelompok mineral yang dalam pengertian/penamaan bahan galian merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri dari 48 jenis yang yang terdata dan pernah dijumpai oleh kegiatan penyelidikan yang pernah dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), Badan Geologi, Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.

Zeolit adalah satu kelompok berkerangka alumino-silikat yang terjadi di alam dengan kapasitas tukar kation yang tinggi, adsorpsi tinggi dan bersifat hidrasi-dehidrasi. Telah diketahui sekitar 50 spesies yang berbeda dari kelompok mineral ini, tetapi hanya 9 mineral zeolit yang sering dijumpai, seperti: analcim, chabazit, klinoptilolit, heulandit,

erionit, ferrierit, laumontit, mordenit dan phillipsit. Struktur dari setiap mineral ini berbeda tetapi semua mempunyai lorong terbuka yang besar dalam struktur kristal yang memungkinkan satu lubang besar untuk penyerapan dan bertukar kation, mengakibatkan zeolit sangat efektif sebagai penukar kation.

Dalam pemanfaatan zeolit telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industri dan pertanian, juga bagi lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya. Zeolit merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator.

Secara geologi, mula jadi zeolit ditemukan dalam batuan tuf yang terbentuk dari hasil sedimentasi, debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Ada empat proses sebagai gambaran mula jadi zeolit, yaitu proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali, proses alterasi, proses diagenesis dan proses hidrotermal.

Indonesia berada dalam wilayah rangkaian gunung api mulai dari Sumatera, Jawa, Nusatenggara, sampai Sulawesi. Beragam jenis batuan gunung api yang dihasilkan, diantaranya berupa batuan piroklastika tuf berbutir halus yang bersifat asam dan bersusunan dasit-riolit atau bermassa kaca gunung api. Tuf halus ini tersebar luas mengikuti jalur gunung api tersebut yang sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses ubahan atau diagenesis menjadi zeolit. Karenanya, secara geologi Indonesia berpotensi besar menghasilkan zeolit seperti yang terdapat di Sumatera (Lampung, Sumatera Utara), Jawa (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur), Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi.

TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa pihak yang telah melakukan penyelidikan endapan zeolit di Indonesia, baik kegiatan yang bersifat eksplorasi seperti kegiatan inventarisasi bahan galian mineral industri atau non logam, pemetaan sebaran endapan zeolit maupun pemanfaatan dan penggunaan zeolit. Pihak-pihak tersebut antara lain adalah:

1. Yasril Ilyas., dkk dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 1985, telah melakukan penyelidikan endapan zeolit daerah Nanggung, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, yang dikemukakan bahwa zeolit di daerah ini dijumpai pada satuan tuf Formasi Bojongmanik
2. Sukmawan, dkk dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 1990, telah melakukan penyelidikan endapan zeolit di daerah Bojong, Kecamatan Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, yang dikemukakan bahwa zeolit di daerah ini berupa tufa hijau berbatuapung, tufa hijau pasir dan tufa hijau masif, yang keseluruhannya termasuk dalam satuan batuan tufa hijau, Anggota tufa dan Breksi dari Formasi Jampang yang berumur Miosen.
3. Herry Rodiana dan Djohan Permana, dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2000, telah melakukan eksplorasi lanjutan endapan zeolit di Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, yang dikemukakan bahwa zeolit di daerah ini termasuk dalam Formasi Jampang yang berumur Oligosen – Miosen Awal dan Anggota Genteng Formasi Jampang yang berumur Oligosen – Miosen Awal.
4. Adrian Zenith dkk., dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2000, telah melakukan eksplorasi lanjutan endapan zeolit di daerah Katibung, Kecamatan Campang Tiga, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, yang dikemukakan bahwa zeolit di daerah ini dijumpai dalam Satuan Tuf
5. Martua Raja P. dkk., dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2002, telah melakukan inventarisasi dan evaluasi bahan galian industri di Kabupaten Ciamis dan Tasikmalaya, Jawa Barat, menjumpai endapan zeolit di Kampung Munggang Sempu, Desa Tunggilis, Kecamatan Kalipucang, di Kabupaten Ciamis.
6. Nur Amin Latief dan Kusdarto, dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2003, telah melakukan eksplorasi rinci endapan zeolit di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, melakukan pemetaan rinci dan pemboran untuk mengetahui sebaran endapan zeolit secara lateral dan vertikal di daerah Cikalong, Cipatujah, dan Karangnunggal
7. Ratih Sukmawardany dkk., dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2004, telah melakukan inventarisasi dan evaluasi bahan galian industri di Kabupaten Majene dan Mamuju, Sulawesi Barat, menjumpai endapan zeolit di Desa Seppong, Kecamatan Sendana, Kabupaten Majene merupakan hasil ubahan hidrotermal pada tuf Formasi Mandar.
8. Ratih Sukmawardany dkk., dari Direktorat Sumberdaya Mineral pada tahun 2005, telah melakukan inventarisasi dan evaluasi bahan galian industri di Kabupaten Lampung Barat dan Tanggamus, Lampung, menjumpai endapan zeolit di di Desa Tengor, Kecamatan Cukuh Balak, Kabupaten Tanggamus.

9. Wawa Kartawa dari Pusat Survei Geologi pada tahun 2005, telah melakukan penelitian zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila, Kabupaten Tana Toraja, Propinsi Sulawesi Selatan. Batuan induk zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila berupa tuf litik dan tuf gelas yang terubah dan sebagian termineralisasi termasuk ke dalam Gunung Api Lamasi berumur Oligosen.
10. Supriatna Suhala dan M. Arifin, dari Puslitbang Teknologi Mineral pada tahun 1997, dalam buku Bahan Galian Industri, menulis mengenai karakteristik serta pemanfaatan zeolit secara umum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

POTENSI ZEOLIT DI INDONESIA

Di Indonesia tercatat endapan zeolit di 20 lokasi dengan jumlah sumberdaya 447.490.160 ton (Tabel 1. dan Gambar 1.), seperti di Provinsi Jawa Barat mempunyai sumberdaya 185.595.160 ton, Provinsi Lampung sumberdayanya 43.800.000 ton, Provinsi Nusa Tenggara Timur sumberdayanya 6.115.000 ton, Provinsi Sulawesi Barat sumberdayanya 26.400.000 ton, Provinsi Sulawesi Selatan sumberdayanya 169.880.000 ton dan Provinsi Sumatera Utara sumberdayanya 16.200.000 ton.

Daerah Pasirgombang, Bayah, Kabupaten Lebak, Banten

Endapan zeolit di Kabupaten Lebak terdapat pada Satuan Tuf Citorek yang telah mengalami ubahan dan metamorfosa lemah, seiring dengan adanya proses pengkubahan. Zeolit mempunyai kenampakan secara megaskopik berwarna putih kecoklatan, putih kehijauan, hijau gelap, abu-abu muda dan abu-abu gelap apabila segar dan putih kehijauan sampai kecoklatan apabila telah mengalami pelapukkan.

Zeolit ini mempunyai komposisi mineral berdasarkan hasil analisa kuantitatif dari difraksi sinar-X (XRD) diperoleh jenis mineral

mordenit (32,70 %), klinoptilolit (30,89 %). Mineral-mineral lainnya terdiri dari mika, plagioklas dan kuarsa.

Salah satu indikator yang umum dipakai untuk mengetahui mutu zeolit hasil aktivasi adalah dengan mengukur nilai KTK-nya. Nilai KTK zeolit Bayah yang sudah diaktivasi secara pemanasan dan zeolit tanpa aktivasi memiliki nilai KTK-nya berkisar antara 52 sampai dengan 67 meq/100 g mengalami kenaikan nilai KTK tertinggi 84 meq/100 g untuk ukuran -28+48 mesh dan 79 meq/100 g untuk ukuran -28+48 mesh, serta 75,4 meq/100 g untuk ukuran -100 mesh setelah dipanaskan (aktivasi). Hasil uji analisis panas (DTA/TGA) terhadap beberapa zeolit alam Bayah menunjukkan bahwa pemanasan sebaiknya dilakukan pada suhu antara 300 - 400^o C. Sumber daya hipotetik sebesar 123.000.000 ton.

Daerah Nanggung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat

Zeolit di daerah ini termasuk Formasi Bojongmanik, tersingkap dengan baik pada puncak-puncak bukit yang agak tinggi, pada lereng tebing yang agak terjal di bagian hulu anak sungai, pada punggung bukit bergelombang dan di anak sungai maupun pematang persawahan penduduk.

Zeolit berwarna kuning keputihan sampai abu-abu kehijauan, berukuran halus, bersifat keras, kadang-kadang terlihat sisa fragmen batupung yang berukuran kasar, mengandung sedikit mineral biotit, warna lapuk coklat kehitaman, telah mengalami retak-retak dengan arah tidak beraturan, lebar retakan bervariasi antara 2 - 5 cm.

Hasil analisa kimia dari contoh zeolit di daerah Nanggung, Bogor adalah sebagai berikut : SiO₂ : 61,39 - 66,16 %, Al₂O₃ : 12,04 - 14,12 %, Fe₂O₃ : 1,18 - 1,98 %, CaO : 1,75 - 3,78 %, MgO : 0,55 - 0,90 %, K₂O : 0,30 - 1,78 % dan H₂O : 1,00 - 1,65 %. Jenis mineral termasuk kedalam kelompok mineral mordenit dan klinoptilolit. Sumber daya hipotetik sebesar 25.000.000 ton.

Tabel 1. Lokasi Sumberdaya Zeolit Di Indonesia

NO	LOKASI	PROVINSI	KABUPATEN	KECAMATAN	SUMBERDAYA (ton)	KETERANGAN
1	Pasirgombang	Banten	Lebak	Bayah	123,000,000	Jenis mineral mordenit (32,70 %), klinoptilolit (30,89 %). Nilai KTK-nya berkisar antara 52 sampai dengan 67 meq/100 g
2	Nanggung	Jabar	Bogor	Nanggung	25,000,000	Berupa mordenit dan clinoptilolite
3	Desa Tunggilis	Jabar	Ciamis	Kalipucang	520,000	Nilai C.E.C : 184,08 meq/100 gr
4	Bojong	Jabar	Sukabumi	Cikembar	24,151,000	Pakan ternak
5	Gegerbitung	Jabar	Sukabumi	Gegerbitung	100,000,000	-
5	Cikanra	Jabar	Tasikmalaya	Cikalong	2,766,160	Berupa mordenit dan klinoptilolit, CEC 112,70 - 203,35 meq/100 gr
6	Sindangkerta	Jabar	Tasikmalaya	Cipatujah	4,158,000	Berupa mordenit dan klinoptilolit, CEC 83,30 - 222,95 meq/100 gr
7	Cibataureng dan Karangmekar	Jabar	Tasikmalaya	Karangnunggal	6,000,000	Berupa mordenit dan klinoptilolit, CEC 105,35 - 183,29 meq/100 gr
8	Ds. Campangtiga	Lampung	Lampung Selatan	Kalianda	200,000	Diusahakan oleh PT Mina Tama
9	Katibung	Lampung	Lampung Selatan	Katibung	2,000,000	Berupa mordenit dan klinoptilolit, CEC 85,26-174,64 meq/100 gr
10	Pantai Tengor	Lampung	Tanggamus	Cukuh Balak	37,000,000	Zeolit kadar tinggi (klinoptilolit)
11	Desa Tengor	Lampung	Tanggamus	Cukuh Balak	4,600,000	Sudah pernah dieksploitasi, tetapi sudah berhenti lebih kurang 5 th.
12	Desa Khekakado	NTT	Ende	Ende	100,000	KTK 190.93 meq/100 gr
13	Desa Maurole	NTT	Ende	Maukaro	525,000	Terdiri dari mordenit, kuarsa, plagioklas.
14	Aifua, Desa Ondorea	NTT	Ende	Nangapanda	3,990,000	Mineral mordenit, klinoptilolit, kuarsa dan plagioklas
15	Riasawa Barat, Desa Ondorea	NTT	Ende	Nangapanda	1,250,000	Mineral mordenit, klinoptilolit, KTK 168,13 meq/100 gr
16	Riasawa Timur, Desa Ondorea	NTT	Ende	Nangapanda	250,000	Mineral mordenit, klinoptilolit, KTK 169,35 meq/100 gr.
17	Desa Seppong, Kec. Sendana	Sulbar	Majene	Sendana	26,400,000	CEC = 135,57 meq % - 147,56 meq %.
18	Desa Malimongan.	Sulsel	Bone	Salomeko	1,400,000	-
19	Sangkaropi-Mendila	Sulsel	Tanatoraja	Sesean	168,480,000	Jenis mordenit dan heulandit, CEC 16,91 - 108,43 meq/100 gr.
20	Simangumban	Sumut	Tapanuli Utara	Pahan Jae	16,200,000	Dalam Formasi Sihapas, Mineral klinoptilolit

Sumber : Neraca Sumber Daya Mineral Non Logam Nasional Tahun 2008 (PSDG)

Daerah Kalipucang, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat

Endapan zeolit terdapat di Kampung Munggang Sempu, Desa Tunggilis, Kecamatan Kalipucang. Hasil analisa kimia contoh zeolit menunjukkan komposisi kimia: SiO_2 : 63,10%; Al_2O_3 : 13,10%; Fe_2O_3 : 1,42%; MgO : 0,93%; Na_2O_3 : 2,09%; H_2O : 7,34%. Nilai C.E.C: 184,08. Sebaran zeolit di daerah ini sekitar 10 Ha, Sumber daya hipotetik sebesar 520.000 ton.

Daerah Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat

Zeolit di daerah ini berupa tufa hijau berbatuapung, tufa hijaupasiran dan tufa hijau masif, yang keseluruhannya termasuk dalam satuan batuan tufa hijau, anggota tufa dan Breksi dari Formasi Jampang yang berumur Miosen. Jenis mineral zeolit adalah klinoptilolit dan mordenit dengan mineral lainnya yaitu plagioklas, kuarsa, kaolinit, monmorilonit dan kristobalit.

Hasil analisa kimia dari conto zeolit di daerah Cikembar, Sukabumi adalah SiO_2 : 68,0 – 69,8 %, Al_2O_3 : 11,85 – 13,16 %, Fe_2O_3 : 1,52 – 2,39 %, CaO : 1,54 – 2,23 %, MgO : 0,27 – 0,52 %, Na_2O : 0,47 – 1,80 %, K_2O : 2,59 – 5,0 %, TiO_2 : 0,03 – 0,19 %, dan LOI: 7,76 – 8,66 %.

Sumber daya hipotetik zeolit di Kabupaten Sukabumi sebesar 24.151.000 ton.

Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat

Zeolit di daerah Tasikmalaya terdapat di Kecamatan Karangnunggal, Cipatujah dan Cikalong yang termasuk dalam Formasi Jampang yang berumur Oligosen – Miosen Awal dan Anggota Genteng Formasi Jampang yang berumur Oligosen – Miosen Awal.

Daerah Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya

Endapan zeolit dijumpai pada satuan Tuf Anggota Genteng Formasi Jampang umumnya berwarna abu-abu kehijauan, putih kotor keabu-abuan sampai kecoklatan bila telah mengalami pelapukan, berukuran pasir kasar-sedang sampai pasir halus. Mengandung pecahan-pecahan

batugamping, obsidian dan batu apung serta kuarsa sebagai mineral pencampur berukuran dari beberapa milimeter sampai beberapa centimeter. Batuan ini pada umumnya pejal, keras sampai agak keras, di beberapa tempat agak rapuh dan menunjukkan pelapisan, umumnya tertutup oleh tanah pelapukan, singkapan hanya dijumpai pada beberapa tempat bekas penambangan rakyat.

Endapan zeolit di Karangnunggal berasosiasi dengan batuan tufa, terdapat di dua desa, yaitu di Dusun Cipatani dan sekitarnya, Desa Karangmekar dan Dusun Cijambe dan sekitarnya, Desa Cibataireng, sumber daya terunjuk zeolit di daerah Karangnunggal lebih kurang 6.000.000 ton.

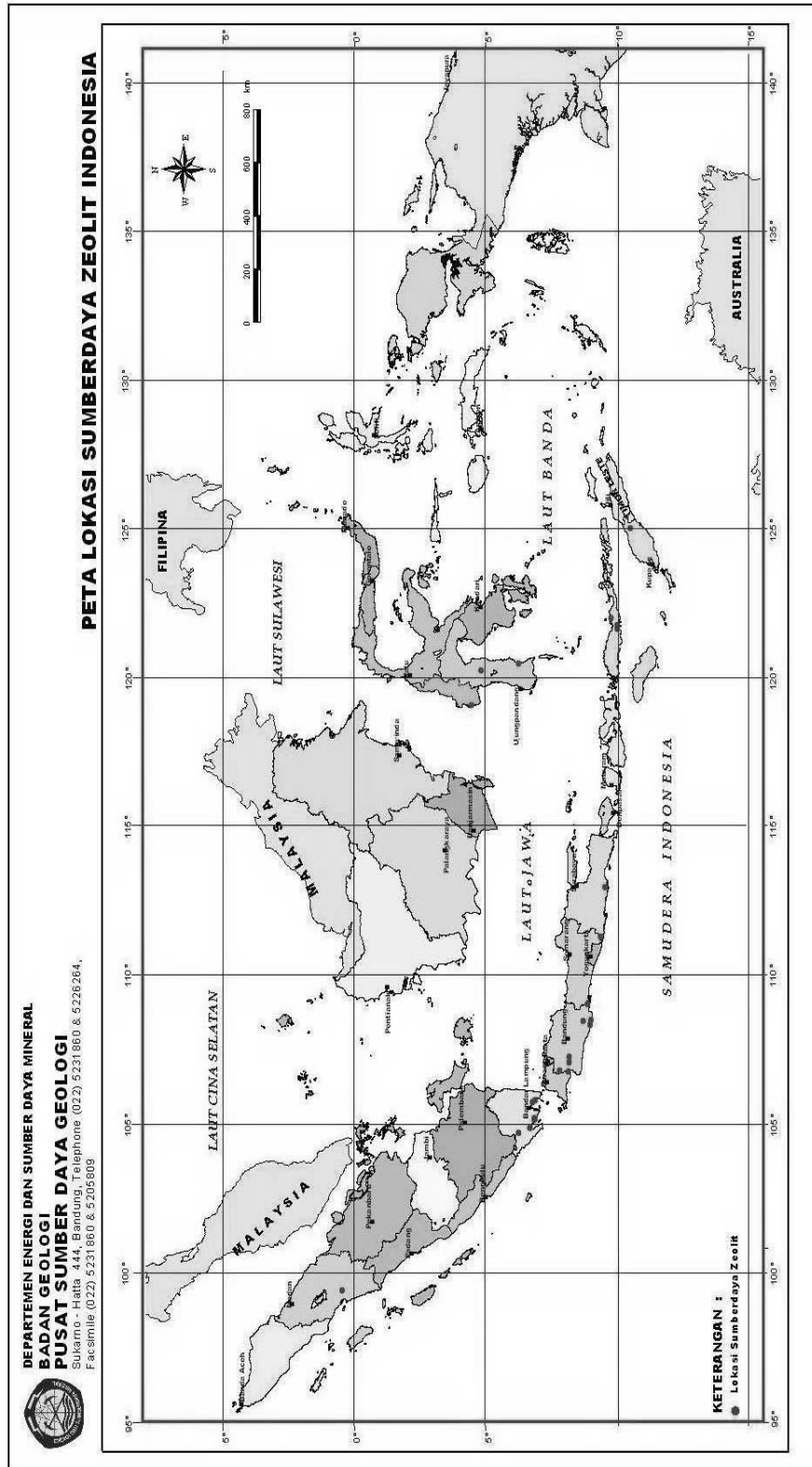
Daerah Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya

Endapan zeolit di daerah Cipatujah pada umumnya juga terdapat pada satuan tuf Anggota Genteng Formasi Jampang, termasuk ke dalam wilayah Lebaksaat, Desa Sindangkerta, Kecamatan Cipatujah. Dari pengamatan megaskopis pada singkapan-singkapan dan inti bor diketahui bahwa zeolit dalam keadaan segar pada umumnya berwarna putih kehijauan, hijau gelap, putih sampai putih keabu-abuan sampai agak kecoklatan apabila telah mengalami pelapukan, berbutir halus sampai sedang. Setempat pada bagian atas zeolit terdapat endapan tuf berwarna putih kompak dan agak keras serta lapisan batu pasir mencapai ketebalan lebih dari 10 meter.

Zeolit pada tempat-tempat tertentu telah diusahakan atau digali/ditambang oleh penduduk. Endapan zeolit tersebut menempati daerah perbukitan terlipat agak kuat, merupakan daerah yang pada umumnya cukup terbuka, sebagian merupakan ladang yang ditanami oleh penduduk tanaman singkong, mangga dan tanaman palawija lainnya. Sebagian lainnya merupakan areal terlantar yang ditumbuhi alang-alang.

Dibagian Tenggara daerah penyelidikan terdapat sebuah pabrik pengolahan zeolit menjadi bubuk berbagai ukuran yang sementara tidak beroperasi lagi. Menurut informasi, Pabrik tersebut milik PT Bukaka.

Sumber daya terunjuk zeolit Cipatujah adalah 4.158.000 ton.



Gambar 1. Peta Lokasi Sumberdaya Zeolit Di Indonesia

Daerah Cikalong, Kabupaten Tasikmalaya

Endapan zeolit di Daerah Kecamatan Cikalong termasuk ke dalam wilayah desa Cikanca membentuk perbukitan dengan

relief yang agak lebih kasar dibandingkan dengan zeolit Daerah Cipatujah dan Karangnunggal, walaupun dibentuk oleh perbukitan dengan ketinggian yang pada umumnya lebih rendah, kurang dari 200 m di

atas permukaan laut, tersebar di beberapa lokasi, termasuk di sekitar daerah pemukiman penduduk.

Dari hasil pengukuran atau pemetaan topografi dan geologi serta sebaran endapan zeolit, diketahui luas sebaran endapan zeolit Cikalong yang dihitung sumber dayanya tidak kurang dari 19 Ha dari sekitar 50 Ha areal yang dipetakan/diukur. Jadi total sumber daya

terunjuk zeolit di daerah Cikalong adalah 2.766.160 ton.

Endapan zeolit Karangnunggal, Cipatujah dan Cikalong dapat disebut sebagai endapan zeolit Tasikmalaya, mengingat karakteristik endapan, ketiganya memiliki kesamaan satu sama lain. Mutu zeolit dapat diketahui atau dikaji berdasarkan hasil uji laboratorium, yang meliputi antara lain analisis mineralogi (Tabel 2 dan Tabel 3).

Tabel 2. Komposisi Mineral Zeolit Tasikmalaya

Jenis Mineral	Ukuran (u)	%	Keterangan
Plagioklas	6 – 240	5,7	Bentuk kristalin, sebagai penokris dengan massa dasar zeolit.
Kwarsa	4 – 45	2,4	Bentuk kristalin, terpisah dengan mineral lain, sebagai penokris, dengan massa dasar zeolit.
Mika/glass	8 – 242	10,3	Bentuk kristalin, sebagai penokris dengan massa dasar zeolit.
Oksida besi	15 – 38	0,4	Bentuk kristalin, sebagai penokris dengan massa dasar zeolit.
Zeolit	1 – 14	81,2	Bentuk kristalin tidak beraturan.

Sumber: Nur A Latif dan Kusdarto (2003)

Tabel 3. Analisa Mineral Zeolit Cikalong Tasikmalaya

Kode Sampel	Zeolit (%)		
	Mordenit	Klinoptilolit	Zeolit
I	79,2	-	79,2
II	84,1	-	84,1
III	84,0	-	84,0
IV	79,2	-	79,2
V	81,2	-	81,2
VI	82,0	-	82,0
Rata-rata	81,62	-	81,62

Sumber: Nur A Latif dan Kusdarto (2003)

Tabel 4. Distribusi Ukuran Penggilingan

Ukuran (Mesh)	Berat		% Berat Tertahan	% Berat Kom. Lolos
	Gram	%		
- 5 + 10	124,2	18,12	18,12	81,88
- 10 + 28	243,8	35,57	53,69	46,31
- 28 + 48	83,0	12,11	65,80	34,20
- 48 + 60	41,9	6,11	71,91	28,09
- 60 +100	62,2	9,08	80,99	19,01
- 100	130,3	19,01	100,00	-

Sumber: Nur A Latif dan Kusdarto (2003)

Analisis butir/ayak (Tabel 4), analisis kimia, analisis difraksi sinar X (XRD) dan petrografi serta pertukaran ion atau harga kapasitas tukar kation (KTK)nya, baik sebelum maupun sesudah diaktifasi.

Dibawah ini beberapa harga KTK zeolit Tasikmalaya dari contoh bor sebelum dan sesudah aktivasi (Tabel. 5).

Mengacu pada pembahasan hasil analisa laboratorium, meliputi analisis kimia, XRD, densitas dan KTK dapat memberikan

gambaran tentang kualitas zeolit di daerah Kabupaten Tasikmalaya. Dari hasil analisis kimia menunjukkan bahwa kadar SiO_2 dan Al_2O_3 dalam zeolit sangat dominan, disamping unsur alkali dan alkali tanah yang berfungsi sebagai pengontrol stabilitas struktur. Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan salah satu sifat fisik zeolit yang sangat penting berkaitan dengan penggunaannya. Nilai KTK zeolit Tasikmalaya sebelum diaktifasi adalah rata-rata di atas 120 meq % (cukup baik), bahkan zeolit Cikalong mencapai 160,2 meq% (sangat baik) dan nilai KTK tersebut akan meningkat cukup berarti setelah diaktifasi baik dengan cara pemanasan maupun dengan menggunakan H_2SO_4 (asam) dan kostik soda (basa). Dengan demikian zeolit tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan, baik untuk industri maupun untuk lingkungan dan pertanian.

Daerah Katibung, Campang Tiga, Lampung Selatan

Endapan zeolit terdapat di beberapa lokasi, di desa Ponorogo, Campang Tiga, Bandar Dalam dan Talang Baru. Batuan yang mengandung mineral zeolit adalah batuan tufa berwarna putih sampai putih kusam, berbutir halus sampai kasar. Luas sebaran endapan zeolit dari hasil pengukuran adalah 35 ha dengan sumberdaya 800.000 m^3 atau 2.000.000 ton. Mineralnya terdiri dari klinoptilolit dan mordenit dengan asosiasi mineral plagioklas, montmorilonit, kristobalit dan kuarsa, mempunyai nilai KTK = 85,26-174,64 meq %.

Daerah Tengor, Cukuh Balak, Kabupaten Tanggamus, Lampung

Zeolit di daerah Kabupaten Tanggamus terdapat di Desa Tengor, Kecamatan Cukuh Balak, berwarna putih kehijauan, keras, masif, tinggi singkapan lebih kurang 6 m. Sudah pernah dieksploitasi, tetapi sudah berhenti lebih kurang 5 tahun. Sarana transportasi di daerah ini masih kurang, hal ini cukup berpengaruh dalam eksploitasi, sumber daya hipotetik sebesar 4.600.000 ton dengan luas sebaran 20 ha.

Endapan Zeolit di Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur

Lokasi endapan zeolit terdapat di Khekadado, Ds. Bheremari, Aifua, Puugawa, Ds. Ondorea, Tendarea, Kecamatan Nangapanda, Rukurambe, Raporendu, Kecamatan Ende serta Nabe dan Nggemo, Ds. Nabe di Kecamatan Maukaro, pada umumnya berwarna hijau muda – tua, berbutir halus, kompak, terkekarkan, berlapis, mengandung mineral klinoptilolit dan modernit, hasil analisa memperlihatkan besar nilai Kapasitas Tukar Kation berkisar antara 149,72 – 195,35 meq%.

Sumber daya hipotetik endapan zeolit di masing-masing kecamatan adalah: Kecamatan Nangapanda sebesar 5.490.000 ton, Kecamatan Ende sebesar 100.000 ton dan Kecamatan Maukaro sebesar 525.000 ton.

Tabel 5. Harga KTK rata-rata zeolit Tasikmalaya dari contoh inti bor

No.	Daerah	Kapasitas Tukar Kation (KTK) Dalam meq %			
		Sebelum Perlakuan	Rata-Rata	Setelah Pemanasan 105 °C	Rata-Rata
1.	Karangnunggal	105,35 – 183,29	139,80	110,45 – 190,75	144,00
2.	Cipatujah	83,30 – 222,95	147,58	84,22 – 232,09	154,13
3.	Cikalong	112,70 – 203,35	160,20	117,20 – 212,73	168,16

Sumber: Nur A Latif dan Kusdarto (2003)

Endapan Zeolit di Kabupaten Majene, Sulawesi Barat

Zeolit terdapat di Desa Seppong, Kecamatan Sendana, merupakan hasil ubahan hidrotermal pada tuf Formasi Mandar. Batuan ini berwarna kehijauan, berlapis, keras,

berbutir halus – sedang, terdiri dari mineral kuarsa dan mordenit, $\text{SiO}_2 = 71,39\% - 71,51\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,63\% - 13,05\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,08\% - 1,13\%$, $\text{CaO} = 1,26\% - 1,61\%$, $\text{MgO} = 0,32\% - 0,38\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 1,41\% - 1,97\%$, $\text{K}_2\text{O} = 4,28\% - 3,28\%$, $\text{TiO}_2 = 0,08\% - 0,09\%$, $\text{MnO} = 0\% - 0,01\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,03\% - 0,09\%$,

SO₃ = 0% - 0,01%, H₂O = 1,11% - 1,71%, HD⁻ = 5,03% - 6,86%. CEC = 135,57 meq % - 147,56 meq %, sumber daya diperkirakan sebesar 26.400.000 ton.

Daerah Sangkaropi-Mendila, Tana Toraja, Sulawesi Selatan

Batuan induk zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila berupa tuf litik dan tuf gelas yang berubah dan sebagian termineralisasi termasuk ke dalam Gunung Api Lamasi berumur Oligosen. Hal ini ditunjukkan oleh hadirnya mineral ubahan hidrotermal seperti klorit, epidot, mineral lempung, karbonat dan silika, serta logam-logam dasar.

Sembilan belas percontoh batuan telah dianalisis secara petrografis, tuf yang mengandung zeolit termasuk ke dalam tuf litik dasitik berubah dan tuf kaca berubah kuat, bertekstur piroklastika dengan komposisi mineral, dan terdiri atas fenokris kuarsa, plagioklas, ortoklas, piroksen, hornblenda, biotit, dan muskovit. Juga terdapat komponen batuan gunung api, yaitu dasit batuapungan dan andesit dengan persentase yang berbeda-beda, diikat oleh massa dasar kaca gunung api dan mineral-mineral ubahannya. Mineral ubahan hadir berupa mineral lempung (kaolinik dan montmorilonit), Na-zeolit atau Ca-zeolit, klorit, epidot, dan sedikit karbonat, serta pirit dan magnetit hadir pula sebagai mineral tambahan. Hasil analisis SEM, menunjukkan bahwa zeolit ini termasuk jenis mordenit dan heulandit. Hasil analisis fisik Koefisien Tukar Kation/KTK (Cation Exchange Capacity/CEC) memperlihatkan nilai antara 16,91 meq/100 mg sampai dengan 108,43 meq/100 gr. Zeolit Sangkaropi-Mendila dengan sumber daya sekitar 168.480.000 ton pada daerah seluas 360.000 m² ini, dapat digunakan dalam bidang perikanan (budi daya udang), pertanian, penyerap limbah, dan bidang industri lainnya.

KESIMPULAN

Di masa mendatang, perkembangan zeolit di Indonesia diperkirakan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin berkembangnya jumlah ataupun ruang lingkup penggunaan zeolit, serta perkembangan teknologi pengolahannya yang semakin dapat memenuhi kriteria zeolit untuk berbagai keperluan.

Ditinjau dari potensi sumber daya, terdapat beberapa lokasi endapan zeolit yang mempunyai prospek untuk dikembangkan, seperti di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, Kabupaten Bayah, Banten, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat dan Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan.

Untuk prospek pengembangan potensi endapan zeolit sebagai bahan baku dalam industri masih perlu penelitian terutama penggunaannya, perlu dilakukan penelitian dengan semua pihak baik industri, pendidikan maupun pihak lainnya. Untuk itu perlu dilakukan:

- Eksplorasi rinci dengan pemboran di daerah endapan zeolit yang mempunyai prospek untuk dikembangkan agar didapat data potensi baik, kualitas maupun kuantitas yang lebih baik.
- Perlunya kerjasama penelitian dengan pihak terkait : Pemerintah, Universitas, Ikatan Zeolit Indonesia dan semua pihak yang berkepentingan dalam industri zeolit, dari mulai eksplorasi, pengolahan dan sampai penggunaan. Dengan adanya saling tukar informasi, maka potensi dan penggunaan zeolit dalam industri akan berjalan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ilyas. Y., dkk., 1985, Penyelidikan endapan zeolit daerah Nanggung, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
2. Sukmawan, dkk., 1990, Penyelidikan endapan zeolit di daerah Bojong, Kecamatan Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
3. Rodiana, H.E. dan Djohan Permana, 2000, Eksplorasi lanjutan endapan zeolit di Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
4. Zenith, A. dkk., 2000, Eksplorasi lanjutan endapan zeolit di daerah Katibung, Kecamatan Campang Tiga, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
5. Parningotan, M. R., 2002, dkk., Inventarisasi dan evaluasi bahn galian

- industri di Kabupaten Ciamis dan Tasikmalaya, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
6. Latief, N. A. dan Kusdarto, 2003, Eksplorasi rinci endapan zeolit di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
 7. Sukmawardany, R., dkk., 2004, Inventarisasi dan evaluasi bahan galian industri di Kabupaten Majene dan Mamuju, Sulawesi Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
 8. Sukmawardany, R., dkk., 2005, Inventarisasi dan evaluasi bahan galian industri di Kabupaten Lampung Barat dan Tanggamus, Lampung, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
 9. Kartawa, W., dkk., 2005, Penelitian zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila, Kabupaten Tana Toraja, Propinsi Sulawesi Selatan, Pusat Survei Geologi, Bandung.
 10. Suhala, S. dan M. Arifin, 1997, Zeolit, Bahan Galian Industri, hal. 308-325, Puslitbang Teknologi Mineral, Bandung.

PUPUK NPK LEPAS LAMBAT DENGAN ZEOLIT SEBAGAI SALAH SATU FILLER DI PERKEBUNAN TEH

Pudjo Rahardjo

Pusat Penelitian Teh dan Kina, Gambung
Email: ecosci@bdg.centrin.net.id

ABSTRAK

Pupuk merupakan sebuah faktor produksi selain fungsi tanah, air, benih/bibit dan teknologi budidaya tanaman. Tanpa pemberian pupuk yang sesuai dengan rekomendasi kebutuhan tanaman untuk memenuhi keseimbangan neraca hara, potensi hasil atau potensi genetika tanaman tidak akan tercapai. Pupuk yang tepat adalah pupuk dapat diberikan secara tepat jenis, tepat dosis, tepat cara dan tepat waktu, dan efektif menaikkan produktifitas serta efisien ekonomis. Hal ini terdapat pada pupuk lepas lambat yang memakai filler zeolit. Pupuk NPK lepas lambat dengan memakai zeolit sebagai salah satu fillernya dengan imbang N:P:K:Mg = 25:5:10:2 dan 23:7:10:2 dengan dosis 400, 600 dan 800 kg/ha/tahun diaplikasikan dua kali setahun. Sedangkan dosis anjurannya memakai pupuk tunggal, N= 300, P₂O₅ = 94, K₂O = 180, MgO = 54 kg/ha/tahun, 4 aplikasi/tahun. Dosis 800 kg/ha/tahun baik formula I atau II meningkatkan hasil pucuk petikan yang tertinggi. Dosis 400 kg/ha/tahun dan 600 kg/ha/tahun memberikan hasil pucuk petikan lebih rendah. Dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan pupuk menunjukkan adanya peningkatan yang berarti (115 – 129%) pada klon teh 2025 di Kebun Teh Kanaan.

Kata kunci: tanaman teh, pupuk lepas lambat

ABSTRACT

NPK FERTILIZER SLOW RELEASE WITH ZEOLITE AS ONE FILLER AT TEA GARDEN. *The fertilizer is one of factors production besides land, water, seed, and cultivation technology. Without giving fertilizer which suitable with recommendation the needs of the plants to fulfill nutrient balance, potential product or potential of plant genetics will not be achieved. Proper fertilizer is giving fertilizer with exactly type, right dosage, correct method and time, and effectively to increase productivity, and economics efficiency. This is contained in slow release fertilizer which wearing zeolite filler. NPK fertilizer slow release using zeolite as one of filler with ratio of N:P:K:Mg = 25:5:10:2 and 23:7:10:2 with doses of 400, 600, and 800 kg/ha/year applied on two times a year. Whereas, recommended doses is using a singular fertilizer of N= 300, P₂O₅ = 94, K₂O = 180, MgO = 54 kg/ha/year, 4 applications/year. Dosage of 800 kg/ha/year of formula I and formula II was increasing treetops. Dosage of 400 kg/ha/year and 600 kg/ha/year giving lower treetops. It is compared with the control without fertilizer treatment was showed a significant increase (115 to 129%) in clones of tea 2025 in Tea Garden Canaan.*

Keywords: tea plant, slow release fertilizer

PENDAHULUAN

Produksi teh Indonesia dalam 25 tahun terakhir mengalami perkembangan yang pesat dengan telah dilakukannya usaha-usaha intensifikasi dan ekstensifikasi, terjadi perluasan areal tanaman dari 116.082 ha pada tahun 1970 menjadi 154.186 ha tahun 1996 (132,80%), sedangkan produksi teh meningkat dari 60.942 ton menjadi 166.256 ton (272,80%). Produktifitas tanaman teh di Indonesia masih memiliki peluang untuk dapat ditingkatkan karena areal tanaman yang luasnya 156.840 ha (Statistik Teh Indonesia, 2001) 70%-nya masih merupakan tanaman tua yang umurnya lebih dari 50 tahun.

Kebun-kebun teh tua yang tingkat produktifitasnya rata-rata 2000 kg/ha/tahun, laju kenaikan produksinya selama 10 tahun terakhir hanya 0,5-1,0% per tahun, sedangkan kebun-kebun yang mempunyai areal tanaman muda (klonal) lebih dari 40%, laju kenaikan produktifitasnya mampu di atas 3% per tahun. Kebun teh yang produktifitasnya sukar ditingkatkan lagi karena sudah melampaui umur ekonomis, tetapi tanahnya cocok untuk tanaman teh, perlu dilakukan penanaman ulang (*replanting*) dengan klon-klon teh unggul yang potensi produksinya \pm 4500 kg/ha/tahun teh jadi (Tim, 1991).

Sebagian besar tanaman teh tumbuh di dataran tinggi dengan ketinggian \pm 1.300 -

1.650 meter dari permukaan laut, merupakan daerah yang berbukit-bukit dengan curah hujan tinggi, rata-rata tiap tahunnya 2.500-4000 mm. Daerah ini merupakan daerah yang rawan erosi, curah hujan yang tinggi sepanjang tahun menyebabkan lapis olah tanah secara perlahan-lahan terkikis dan bahan organik tanahnya terangkut bersama tanah. Di areal tanaman teh kadar bahan organik tanah mengalami penurunan di dataran tinggi turun dari rata-rata 6,2% menjadi kurang dari 5%, pada dataran rendah dari 5,2% menjadi kurang dari 3%.

Tanaman teh merupakan tanaman yang dipanen secara teratur dari daun muda atau pucuknya, sehingga setiap faktor penentu pertumbuhan vegetatif termasuk pupuk akan cepat mempengaruhi produksi pucuk tersebut. Penyerapan hara oleh tanaman teh yang berasal dari tanah dan pupuk sangat ditentukan oleh kandungan air dalam tanah, kelembaban udara, intensitas pengambilan hasil, panjang penyinaran, suhu, konservasi tanah dan pemupukan yang teratur dan cukup serta potensi genetik tanaman.

Sifat tanaman teh agak berbeda dengan tanaman keras lain dalam kaitannya dengan perubahan cuaca. Dari pengalaman menunjukkan bahwa dalam 2-3 minggu tidak ada hujan produksi pucuk sangat menurun. Perbedaan produksi pucuk antara bulan flush dan bulan kering sering mencapai lebih dari 50%, walaupun sudah diadakan manipulasi pemangkasan dan kultur teknis, hal ini tentu mempengaruhi intensitas dan cara penyerapan hara.

Hasil pengamatan Dey (1971), pada areal yang telah ditanami teh selama lebih dari 40 tahun, menunjukkan bahwa pada 20 tahun pertama kadar bahan organik, pH tanah, dan kadar K tanah menurun drastis diikuti penurunan secara lambat dan hampir tetap setelah tanaman berumur 40 tahun. Rahardjo dan Salim (2008) memberikan bukti bahwa sebagian kebun teh di Jawa Barat telah mengalami degradasi kesuburan selama proses 18 tahun mulai deteksi analisa tanah 1989 sampai dengan 2007. Dengan demikian dapat diduga bahwa kesuburan tanah di perkebunan teh bersifat dinamis yang cenderung menurun (Wibowo, 1990). Oleh karena itu penanaman kembali pada tanah-tanah yang pernah ditanami, sering menghasilkan tanaman baru yang kurang sehat dari awal pertumbuhan terlihat adanya gejala kahat hara. Dalam melakukan peremajaan ini banyak ditemukan kegalangan

karena kurangnya pemahaman tentang kondisi tanah yang akan ditanam ulang, cara penanaman, pemilihan bahan tanaman unggul dan cara penanaman tanaman muda (Tim, 1991).

Tanaman teh sebagian besar ditanam pada Andisols (52%), Inceptisols (15%) Ultisols (18%), dan Entisols (9%) (Darmawijaya, 1977 dan 1979). Masing-masing jenis tanah tersebut mempunyai tingkat keserasian yang berbeda untuk tanaman teh, untuk mengetahui pengaruh pupuk terhadap tanaman teh perlu dilakukan pengujian pada berbagai jenis tanah tersebut. Untuk pertumbuhannya tanaman teh memerlukan hara makro NPKMg dalam jumlah banyak yang diberikan melalui tanah dan unsur hara mikro Zn dalam jumlah sedikit diberikan dalam bentuk larutan sehingga produktifitas tanaman tidak menurun atau bahkan meningkat.

Pupuk untuk tanaman teh selama ini direkomendasikan, diberikan dalam bentuk pupuk tunggal dengan imbangannya sesuai hasil analisis tanah dan daun serta pemberiannya dicampurkan, karena tanaman teh tiap aplikasi memerlukan hara lengkap dan diberikan secara teratur. Namun di lapangan sering mengalami kendala berupa keterlambatan salah satu jenis pupuk sehingga tidak dapat diberikan dengan lengkap dan takaran anjuran tidak ditepati.

Oleh karena itu, pupuk NPK majemuk lepas lambat diharapkan bisa salah satu jalan keluar kesulitan penyediaan pupuk tunggal pada saat diperlukan selama musim pemupukan. Tersedianya pupuk lepas lambat tersebut dibandingkan dengan pupuk tunggal (N dari Urea = 46%, N dari ZA = 21%, P_2O_5 dari SP-36 = 36%, K_2O dari KCl = 60% dan MgO dari Kieserit = 27%) diharapkan dapat lebih unggul dengan adanya salah satu filler zeolit sehingga berfungsi sebagai pupuk majemuk lengkap lepas lambat. Lebih lanjut, pupuk semacam ini akan dapat diandalkan untuk melestarikan produksi tanaman teh asal biji dan klonal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perlakuan berbagai dosis pupuk lepas lambat NPK dengan Formula I dan Formula II dibanding pupuk konvensional (*Urea, ZA, TSP, KCl dan Kieserit*), yang dapat meningkatkan produksi daun teh bermutu.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Percobaan

(1) Pupuk lepas lambat NPK (Formula I dan Formula II), (2) pupuk Urea, ZA, TSP, KCl, Kieserit, (3) tanaman teh menghasilkan klon TRI 2025 (Kebun Teh Kanaan, Jawa Barat). (4) pestisida, (5) herbisida, (6) semple tanah, daun untuk analisis hara tanah dari lokasi percobaan, (7) timbangan, (8) ajir, (9) cam, (10) kantong plastik, dan (11) alat-alat tulis.

Metode Penelitian

Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 8 perlakuan, diulang 4 kali, ukuran plot percobaan ; 20 m x 20 m = 400 m²/plot, umur pangkas 14 (empat belas) bulan, tanaman yang diuji klon TRI 2025 (Kebun Kanaan), aplikasi pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan Formula II) 2

kali/tahun dan pupuk konvensional 4 kali/tahun (20%-30%-20%-30%), lama penelitian 12 (dua belas) bulan (Januari-Desember 2007), susunan perlakuan sebagai berikut (Tabel 1).

Pengujian pupuk lepas lambat NPK majemuk dilakukan di lokasi Kebun Kanaan (KPB Chakra), Kecamatan Ciwidey, Kabupaten Bandung, klon yang diuji TRI 2025, luas plot = 400 m² lamanya penelitian masing-masing 12 (dua belas) bulan (Januari 2007–Desember 2007).

Pengujian secara statistik terhadap parameter produksi pucuk petikan, jumlah pucuk peko, bobot pucuk peko, jumlah pucuk burung, bobot pucuk burung dan bobot kering pucuk (peko + burung), analisis daun, selisih hara, rasio hara dan analisis tanah sebelum dan sesudah perlakuan berbagai dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk.

Tabel 1. Susunan perlakuan (kg/ha/tahun)

No.	Perlakuan	Dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (kg/ha/tahun)	Aplikasi Pemupukan per tahun
1	Formula I	25-5-10-2	2 x
	A	400	
	B	600	
3	C	800	2 x
4	Formula II	23-7-10-2	2 x
	D	400	
	E	600	
6	F	800	2 x
7	Dosis anjuran	Dosis anjuran	4 x
	G	Dosis anjuran	
8	H	Tanpa pupuk	0

Keterangan: Dosis anjuran N = 300, P₂O₅ = 94, K₂O = 180, MgO = 54 kg/ha/tahun

Parameter yang diamati selama penelitian :

1. Analisis tanah dan daun sebelum dan sesudah perlakuan.
2. Penimbangan hasil produksi pucuk setiap kali pemetikan.
3. Analisis petikan dan penimbangan hasil analisis petikan.
4. Analisis teknoekonomi.

perlakuan pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan II), perlakuan G (dosis pupuk anjuran PPTK Gambung; N = 300 kg/ha/tahun, 94 P₂O₅ kg/ha/tahun, K₂O 180 kg/ha /tahun dan MgO 54 kg/ha/tahun), dibandingkan dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pucuk petikan

Hasil uji statistik terhadap hasil pucuk petikan selama 12 bulan (Januari – Desember 2007) di kebun Kanaan pada berbagai dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan II) tertera pada Tabel 2 di bawah ini, menunjukkan ada perbedaan yang sangat nyata menurut uji lanjut Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 5% antara

Dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I = 25%-5%-10%-2%) perlakuan; B (600 kg/ha/ tahun), C (800 kg/ha/tahun), (Formula II = 23%-7%-10%-2%.) perlakuan; E (600 kg/ha/tahun), dan F (800 kg/ha/tahun), sangat berbeda nyata dengan perlakuan G (dosis pupuk tunggal anjuran). Tabel 2 terlihat bahwa dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk dengan taraf dosis 800 kg/ha/tahun baik formula I maupun formula II meningkatkan hasil pucuk petikan yang tertinggi dibandingkan dengan semua perlakuan dosis pupuk lepas lambat NPK

majemuk maupun dosis pupuk konvensional (anjaran).

Pada taraf dosis 400 kg/ha/tahun dan 600 kg/ha/tahun hasil pucuk petikan lebih rendah, tetapi secara nominal dibandingkan dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk) menunjukkan adanya peningkatan yang berarti sebesar antara 115 – 129%.

Hasil pengujian terhadap berbagai dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (formula I dan formula II) yang diaplikasikan pada tanaman teh menghasilkan (TM) menunjukkan hasil yang sama, sehingga dosis untuk tanaman teh (TM) dengan menggunakan pupuk lepas lambat NPK majemuk sebesar 600 – 800 kg/ha/tahun disesuaikan dengan target produksi per blok kebun setempat.

Analisis pucuk

Hasil rata-rata analisis pucuk (jumlah pucuk peko dan pucuk bobot pucuk peko) pada Tabel 3 di bawah ini, perlakuan pupuk lepas lambat NPK majemuk; (Formula I = 25%-5%-10%-2%) perlakuan; A (400 kg/ha/tahun), B (600 kg/ha/ tahun), C (800 kg/ha/tahun), (Formula II = 23%-7%-10%-2%.) perlakuan D (400 kg/ ha/tahun), E (600 kg/ha/tahun), F (800 kg/ha/tahun), dan perlakuan G (dosis pupuk anjaran), menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk). Perlakuan pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan Formula II) pada perlakuan C (800 kg/ha/tahun) dan perlakuan G (dosis pupuk anjaran) memiliki angka rata-rata jumlah dan bobot pucuk peko tertinggi dibandingkan dengan perlakuan dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I = 25%-5%-10%-2%) pada perlakuan; A (400 kg/ha/tahun),

Tabel 2. Rata-rata hasil pucuk petikan 12 bulan setelah perlakuan pupuk lepas lambat NPK majemuk pada tanaman teh menghasilkan (Januari – Desember 2007)

Perlakuan	Pupuk lepas lambat NPK majemuk (kg/ha/tahun)	Hasil pucuk petikan (kg/plot)	Persentase terhadap H	Persentase terhadap G
	25-5-10-2			
A	400	845.75 c	117	101
B	600	876.56 d	122	104
C	800	917.61 f	127	109
	23-7-10-2			
D	400	826.00 b	115	98
E	600	887.81 e	123	106
F	800	932.31 f	129	111
	Dosis Kebun			
G	Dosis anjaran	839.38 c	116	100
H	Tanpa pupuk	720.81 a	100	86

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%.

B (600 kg/ha/ tahun), (Formula II = 23%-7%-10%-2%) perlakuan; D (400 kg/ha/tahun) dan E (600 kg/ha/tahun) pada pengamatan jumlah pucuk peko dan bobot pucuk peko selama 12 bulan setelah perlakuan pupuk lepas lambat NPK majemuk di Kebun Kanaan.

Rata-rata jumlah pucuk burung dan bobot pucuk burung pada Tabel 3 di bawah ini, perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat; (Formula I = 25%-5%-10%-2%) perlakuan; A (400 kg/ha/tahun), B (600 kg/ha/ tahun), C (800 kg/ha/ tahun), (Formula II = 23%-7%-10%-2%) perlakuan D (400 kg/ha/tahun), E (600 kg/ha/ tahun), F (800 kg/ha/tahun), dan perlakuan G (dosis pupuk

anjaran), menunjukkan perbedaan yang sangat nyata dibandingkan dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk), diantara perlakuan dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan Formula II) dan perlakuan G (pupuk konvensional/anjaran) tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata, baik diantara dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk itu sendiri.

Bobot kering pucuk

Bobot kering pucuk (pucuk peko + pucuk burung) pada Tabel 4 di bawah ini, perlakuan dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk; (Formula I dan II), perlakuan G (dosis pupuk anjaran), menunjukkan adanya perbedaan

yang nyata dibandingkan dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk). Di antara perlakuan dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk (Formula I dan Formula II) dengan perlakuan G (dosis anjuran PPTK Gambung) tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata, baik diantara dosis pupuk lepas lambat NPK majemuk itu sendiri. Secara nominal bobot kering pucuk (peko + burung) menunjukkan adanya peningkatan bobot kering pucuk sebesar antara 114 – 126% dibanding dengan perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk), hal ini membuktikan bahwa perlakuan dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat (Formula I dan Formula II) memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap pertumbuhan, kualitas pucuk dan bobot kering pucuk (peko + burung) yang berarti.

Analisis hara daun

Hasil analisis daun indung teh yang dilakukan dari setiap plot percobaan pada awal dan akhir percobaan ditujukan pada analisis hara; N, P, K, Ca, Mg, S dan Zn (Tabel 5). Hasil interpretasi dari analisis hara daun teh menurut standar baku hara menunjukkan adanya kenaikan keharaan setelah perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat (Formula I = 25%-5%-10%-2%) dan (Formula II = 23%-7%-10%-2%) selama 12 bulan (Januari 2007 sampai dengan Desember 2007) yang berarti bagi pertumbuhan tanaman teh menghasilkan (TM) dibanding dengan sebelum perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat masing-masing termasuk katagori sebagai berikut;

Tabel 3. Rata-rata hasil analisis pucuk 12 bulan setelah perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat pada tanaman teh menghasilkan (Januari – Desember 2007)

Perlakuan	Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	Rata-rata hasil pengamatan terhadap			
		Jumlah pucuk peko (helai/plot)	Bobot pucuk peko (g/plot)	Jumlah pucuk burung (helai/plot)	Bobot pucuk burung (g/plot)
	25-5-10-2				
A	400	148.50 b	199.80 b	183.67 a	252.50 b
B	600	151.50 b	204.55 b	182.33 a	251.08 b
C	800	169.50 c	229.85 c	181.67 a	253.65 b
	23-7-10-2				
D	400	145.33 b	197.54 b	188.00 a	258.30 b
E	600	157.67 c	213.70 b	187.00 a	256.95 b
F	800	171.00 c	232.95 c	182.67 a	254.10 b
	Dosis Kebun				
G	Dosis anjuran	168.33 c	228.25 c	185.00 a	254.00 b
H	Tanpa pupuk	121.00 a	152.25 a	218.00 b	198.55 a

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%.

N = sedang (3.18-3.20%), P = rendah-sedang (0.17-0.21%), K = rendah (1.11-1.20%), Ca = sedang (1.63-1.67%), Mg = tinggi - sampai sangat tinggi (0.27-0.34%), S = tinggi sampai-sangat tinggi (0.27-0.32%) dan Zn = rendah (16-18 ppm). Menurut standar baku hara daun indung (Wibowo dan Verstrijen, 1976).

Selisih hasil analisis hara daun indung teh (Tabel 6) terhadap N, P, K, Ca, Mg, S dan Zn dibanding dengan sebelum perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat, untuk mengetahui penambahan dan kekurangannya dari masing-masing hara rata-rata yang dianalisis dari semua perlakuan pupuk NPK

majemuk lepas lambat yang diuji pada tanaman teh klon TRI 2025 selama 12 bulan (Januari 2007 sampai dengan Desember 2007) setelah perlakuan dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat (Formula I dan Formula II) menunjukkan adanya peningkatan yang berarti terutama berturut-turut sebesar; N = (0.02-0.09%), P = (0.02%), K = (0.01-0.02%), Ca = (0.01-0.05%), Mg = (0.02%), S = (0.01-0.04%), dan Zn = (1-3 ppm). Sedangkan untuk perlakuan I (tanpa perlakuan pupuk) menunjukkan penurunan keharaan daun; N = (-11%), P = (-0,05%), K = (-0.23%), Mg = (-0.10%), S = (0.05%) dan Zn = (-5).

Tabel 4. Rata-rata bobot kering pucuk (peko+burung) 12 bulan setelah perlakuan pupuk lepas NPK majemuk lambat (Januari – Desember 2007)

Perlakuan	Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	Hasil pucuk petikan (kg/plot)	Persentase terhadap H	Persentase terhadap G
25-5-10-2				
A	400	142.63 b	116	94
B	600	145.50 b	119	96
C	800	153.48 c	125	101
23-7-10-2				
D	400	140.20 b	114	92
E	600	147.65 b	120	97
F	800	154.20 c	126	102
Dosis Kebun				
G	Dosis anjuran	151.65 b	124	100
H	Tanpa pupuk	122.55 a	100	--

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%.

Tabel 5. Rata-rata hasil analisis hara daun indung teh setelah perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat pada tanaman teh klon TRI 2025

Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	Rata-rata hasil analisis daun (% terhadap berat kering)						
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Zn (ppm)
Sebelum perlakuan	3.16 (S)	0.19 (S)	1.18 (R)	1.62 (S)	0.32 (ST)	0.28 (T)	15 (R)
25-5-10-2+5							
(A) 400 kg/ha/tahun	3.18 (S)	0.17 (S)	1.11 (R)	1.67 (S)	0.28 (T)	0.27 (T)	16 (R)
(B) 600 kg/ha/tahun	3.21 (S)	0.17 (R)	1.20 (R)	1.65 (S)	0.27 (S)	0.28 (T)	16 (R)
(C) 800 kg/ha/tahun	3.18 (S)	0.19 (S)	1.19 (R)	1.67 (S)	0.28 (T)	0.28 (T)	17 (R)
23-7-10-2+5							
(D) 400 kg/ha/tahun	3.19 (S)	0.19 (R)	1.14 (R)	1.65 (S)	0.29 (T)	0.28 (T)	16 (R)
(E) 600 kg/ha/tahun	3.19 (S)	0.18 (R)	1.17 (R)	1.63 (S)	0.27 (S)	0.28 (T)	17 (R)
(F) 800 kg/ha/tahun	3.20 (S)	0.18 (S)	1.19 (R)	1.65 (S)	0.27 (S)	0.29 (ST)	17 (R)
Dosis Kebun							
(G) Dosis anjuran	3.25 (S)	0.21 (S)	1.20 (R)	1.67 (S)	0.34 (ST)	0.32 (ST)	18 (R)
(H) Tanpa pupuk	3.05 (R)	0.14 (R)	0.95 (SR)	1.52 (S)	0.22 (S)	0.23 (R)	10 (R)

Keterangan: Hasil analisis laboratorium tanaman PPTK Gambung, Desember 2007

SR = Sangat Rendah, R = Rendah, S = Sedang, T = Tinggi, dan ST = Sangat Tinggi

Tabel 6. Selisih hara daun indung teh sebelum dan sesudah perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat pada tanaman klon TRI 2025

Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	Rata-rata hasil analisis daun (% terhadap berat kering)						
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Zn (ppm)
25-5-10-2+5							
(A) 400 kg/ha/tahun	+ 0.02	- 0.02	- 0.07	+ 0.05	- 0.04	- 0.01	+ 1
(B) 600 kg/ha/tahun	+ 0.05	- 0.02	+ 0.02	+ 0.03	- 0.05	0	+ 1
(C) 800 kg/ha/tahun	+ 0.02	0	+ 0.01	+ 0.05	- 0.04	0	+ 2
23-7-10-2+5							
(D) 400 kg/ha/tahun	+ 0.03	0	- 0.04	+ 0.03	- 0.03	0	+ 1
(E) 600 kg/ha/tahun	+ 0.03	- 0.01	- 0.01	+ 0.01	- 0.05	0	+ 2
(F) 800 kg/ha/tahun	+ 0.04	- 0.01	+ 0.01	+ 0.03	- 0.05	+ 0.01	+ 2
Dosis Kebun							
(G) Dosis anjuran	+ 0.09	+ 0.02	+ 0.02	+ 0.05	+ 0.02	+ 0.04	+ 3
(H) Tanpa pupuk	- 0.11	- 0.05	- 0.23	- 0.10	- 0.10	- 0.05	- 5

Keterangan : (+) = lebih besar dari hasil analisis hara sebelumnya

(-) = lebih kecil dari hasil analisis hara sebelumnya

Tabel 7. Rata-rata rasio hara daun indung teh klon TRI 2025

Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	Rata-rata hasil analisis daun (% terhadap berat kering)				
	N/P	N/K	K/P	K/Mg	Ca/K
Sebelum perlakuan 25-5-10-2+5	17	3	6	4	1.37
(A) 400 kg/ha/tahun	19	3	7	4	1.50
(B) 600 kg/ha/tahun	19	3	7	4	1.38
(C) 800 kg/ha/tahun	17	3	6	4	1.40
23-7-10-2+5					
(D) 400 kg/ha/tahun	17	3	6	4	1.45
(E) 600 kg/ha/tahun	18	3	7	4	1.39
(F) 800 kg/ha/tahun	18	3	7	4	1.39
Dosis Kebun					
(G) Dosis anjuran	15	3	6	4	1.39
(H) Tanpa pupuk	22	3	7	4	1.60

Keterangan : Rasio hara N/P = 15-17, N/K = 2-3, K/P = 4-5, K/Mg = 5-6 dan Ca/K = 1.50

Penilaian status rasio keheraan daun indung teh (Tabel 7) terutama; N/P; sedang sampai tinggi (16-19), N/K; sedang (3) dan K/P; tinggi (6-7) ada dalam status katagori nilai baku hara normal, tetapi penilaian rasio hara K/Mg; rendah (4) dan Ca/K; rendah (1.38-1.45) rata-rata di bawah nilai standar baku haranya (Wibowo dan Verstrijden, 1976).

Analisis tanah

Hasil analisis tanah secara komposit dari semua perlakuan sebanyak 32 plot percobaan menjadi 8 contoh yang di analisis di laboratorium (sebelum dan sesudah perlakuan berbagai dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat, guna mengetahui

keadaan kesuburan tanah setelah perlakuan pemupukan, serta hasil analisis tanah disajikan pada Tabel 8 setelah perlakuan pemupukan selama 12 bulan (Januari 2007–Desember 2007) dengan hasil interpretasi keheraan tanah menurut standar baku hara sebagai berikut; C-organik; tinggi (6.60-6.70%), N-total; tinggi (0.81-0.89%), C/N; rendah (8), P2O5-tersedia; sedang - tinggi (16.23-26.47 ppm), K2O; rendah (31-43 mg/100 g), Mg-dd; sedang sampai tinggi (0.8-1.0 m.e/100 g), menurut standar baku hara tanah hasil analisis tanah dari semua perlakuan berbagai dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat menunjukkan ada kenaikan dari setiap parameter yang di analisis Wibowo dan Verstrijden, (1976).

Tabel 8. Hasil analisis hara tanah akhir penelitian di kebun Kanaan

Pupuk NPK majemuk lepas lambat (kg/ha/tahun)	C Org. (%)	N Tot. (%)	C/N	Unsur tersedia		NTK
				P2O5 Ppm	K2O mg/100 g	(m.se/100 g) Mg
Sebelum perlakuan 25-5-10-2+5	6.54	0.85	8	18.60	29	0.8
(A) 400 kg/ha/tahun	6.60	0.87	8	19.55	33	0.8
(B) 600 kg/ha/tahun	6.69	0.81	8	16.23	43	0.9
(C) 800 kg/ha/tahun	6.64	0.86	8	21.19	39	1.0
23-7-10-2+5						
(D) 400 kg/ha/tahun	6.62	0.85	8	17.21	31	0.8
(E) 600 kg/ha/tahun	6.67	0.89	7	26.47	38	0.8
(F) 800 kg/ha/tahun	6.70	0.87	8	19.28	37	0.9
Dosis Kebun						
(G) Dosis anjuran	6.75	0.86	8	25.71	42	1.0
(H) Tanpa pupuk	6.01	0.62	10	16.13	19	0.5

Keterangan : Hasil analisis laboratorium tanah dan agroklimat, PPTK Gambung, Desember 2007

Hasil pengamatan pada perlakuan I (tanpa pupuk) adanya penurunan keharaan tanah dibanding dengan sebelum perlakuan pemupukan N-total (0.53%), C-organik (0.23%), P₂O₅-tersedia (2.47 ppm), K₂O-tersedia (10 mg/100 g), dan Mg-dd (0.03 m.e/100 g), hal ini memberikan gambaran bahwa tanaman yang tidak diberi perlakuan pemupukan akan mengalami penurunan kesuburan tanah dan tingkat kesehatan tanaman, sehingga mudah terserang hama dan penyakit.

KESIMPULAN

1. Hasil uji statistik terhadap hasil pucuk petikan pada tanaman teh Kebun Kanaan (KABEPE CHAKRA) selama 12 bulan (Januari-Desember 2007) setelah perlakuan pupuk NPK majemuk lepas lambat dengan salah satu fillernya adalah zeolit menunjukkan perbedaan yang sangat nyata pada dosis pupuk 600 – 800 kg/ha/tahun, secara nominal jumlah kumulatif menunjukkan kenaikan produksi pucuk petikan di Kebun Kanaan rata-rata sebesar 125% di banding dengan tanpa perlakuan pupuk
2. Dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat 800 kg/ha/tahun untuk Formula I dan II, dan pupuk tunggal anjuran memberikan perbaikan jumlah daun peko, tetapi pada dosis 400 dan 600 kg/ha/tahun memiliki efek sama. Semua perlakuan pemupukan memberikan efek perbaikan jumlah peko dibanding perlakuan tanpa pupuk (kontrol negatif)
3. Hasil interpretasi terhadap analisis hara daun indung N, P, K, Ca, Mg, S dan Zn Mg ada dalam status hara sedang sampai tinggi, rasio hara daun N/P, N/K, K/P ada dalam standar baku hara daun, K/Mg dan Ca/K rata-rata termasuk katagori rendah. Dari semua perlakuan berbagai dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat dan pupuk konvensional yang diuji tidak menunjukkan adanya dampak gejala kekahatan atau keracunan bahkan menunjukkan figur tanaman yang sehat.
4. Hasil interpretasi keharaan tanah dari semua perlakuan berbagai dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat dan pupuk konvensional menunjukkan peningkatan yang sangat nyata dibanding dengan

sebelum perlakuan, untuk perlakuan H (tanpa perlakuan pupuk) menunjukkan adanya penurunan hara tanah maupun daun selam penelitian.

5. Dosis pupuk untuk tanaman teh menghasilkan (TM) menggunakan dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat (Formula I dan Formula II) 600-800 kg/ha/tahun disesuaikan dengan blok kebun setempat.
6. Dosis pupuk NPK majemuk lepas lambat (Formula I dan Formula II) = 600 kg/ha/tahun dapat menghemat biaya pembelian pupuk sebesar 25% dibanding dengan pembelian pupuk tunggal konvensional (Urea, ZA, TSP/SP-36, KCI/MOP, Kieserit), belum termasuk biaya pencampuran pupuk di gudang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Statistik Teh Indonesia. 2001. Badan Pusat Statistik dan Asosiasi Teh Indonesia. Jakarta, September 2001.
2. Tim. 1991. Dasar-dasar Pertimbangan Program Replanting Teh. Hal 23-48. Lokakarya Replanting.
3. Dey, S.K. 1971. Changes in Soil Fertility Under Continous Cropping and Manuring in The Growing Areas and Probable Implications Towards Fertilizer Recommendation. Proc. International soil fertile. Eval.: 843-855.
4. Rahardjo, P. and Salim, A. A. 2008. *ASSESSMENT OF DEGRADED LAND IN TEA PLANTATION*. Program of the Workshop on JIRCAS-Indonesia collaborative research project "Enhancement of Remote Sensing and GIS Technology for Sustainable Utilization of Agricultural Resources Indonesia" Bogor, 25 June 2008.
5. Wibowo, Z.S. dan U. Verstrijden. 1990. Kekahatan Unsur Hara pada Tanaman Teh di Indonesia. Pusat Penelitian Teh dan Kina. Bandung. 9 hal.
6. Darmawijaya, M.I. 1977. Pemupukan di Kebun Teh. Lokakarya Tanah dan Pemupukan I. BPTK Gambung. Bandung.
7. Wibowo, Z.S. dan U. Verstrijden (1976). Nilai Baku Kadar Hara Daun Teh. Warta BPTK 2(3/4): 305-316 pp.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZSM-5 MESOPOROUS DENGAN VARIASI RASIO $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Susi Nurul Khalifah* dan Didik Prasetyoko

Jurusan Kimia Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember

* 085731949636, Email: susynur@chem.its.ac.id

ABSTRAK

ZSM-5 mesoporous dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 20, 35, 50, dan 100 telah berhasil disintesis. Fase mesoporus dibuat dengan menggunakan template *Cetyltrimethylammonium Bromide* (CTABr). Kristal yang diperoleh memiliki keasaman dan stabilitas termal yang lebih tinggi. Puncak difraksi khas ZSM-5 muncul pada $2\theta = 7-9^\circ$ dan $2\theta = 23,02^\circ$, sedangkan puncak khas material mesopores muncul pada $2\theta < 5^\circ$. Keasaman permukaan ditentukan dengan menggunakan adsorpsi piridin yang di analisis menggunakan FTIR. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ semakin meningkat maka jumlah sisi asam Brønsted semakin berkurang, sedangkan jumlah sisi asam Lewis meningkat.

Kata Kunci: Sintesis ZSM-5 Mesoporous, Keasaman

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZSM-5 MESOPOROUS WITH VARIATION RATIOS OF $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. ZSM-5 Mesoporous with variation ratios of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 20, 35, 50, and 100 have been successfully synthesized. Phase of mesoporous created using *Cetyltrimethylammonium bromide* (CTABr) templates. Crystal obtained has an acidity and higher thermal stability. Diffraction peaks typical of ZSM-5 appeared at $2\theta = 7-9^\circ$ and $2\theta = 23.02^\circ$, while typical peak of mesoporous materials appeared on $2\theta < 5^\circ$. Surface acidity is determined using pyridine adsorption with FTIR analysis. The increases ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ causes the number total acid side of Brønsted decrease while the total acid side of the Lewis increased.

Keywords: Synthesis of Mesoporous ZSM-5, Acidity

PENDAHULUAN

Zeolit banyak digunakan pada industri sebagai katalis untuk *cracking*, alkilasi, isomerisasi dan esterifikasi, karena memiliki kadar keasaman dan stabilitas hidrotermal yang cukup tinggi dibandingkan dengan material mesoporous, seperti Al-MCM-41. Akan tetapi, zeolit terbatas penggunaannya karena memiliki pori-pori yang sempit. Komponen reaktan yang memiliki ukuran molekul besar akan mengalami kesulitan selama proses transfer massa yang akan berpengaruh pada aktivitas katalitik (Goncalves *et al.*, 2008, Abello' *et al.*, 2009). Untuk meningkatkan difusi reaktan pada katalis, maka diperlukan untuk meningkatkan ukuran pori-pori zeolit, pengurangan ukuran kristal zeolit, atau menyediakan sistem mesopore tambahan di dalam microporous kristal. Riset yang banyak dilakukan adalah dengan cara melebarkan ukuran pori menjadi mesopore, sehingga molekul yang memiliki ukuran besar dapat masuk ke dalam sistem pori, untuk diproses dan untuk meninggalkan

sistem pori-pori kembali (Taguchi *et al.*, 2004).

Ukuran mesopore pada material terutama dipengaruhi oleh penggunaan surfaktan alkil rantai panjang. Akan tetapi, penambahan molekul organik seperti aromatik, n-alkana (Ulagappan, 1996), atau asam lemak dapat menjadikan ukuran mesopore yang semakin besar. Pencampuran surfaktan dua alkil ammonium dengan panjangnya rantai alkil yang berbeda (surfaktan rantai panjang dan rantai yang pendek) dapat digunakan untuk ukuran pori-pori *fine-tune* (Taguchi *et al.*, 2004). Penggunaan karbon sebagai *template* juga telah banyak digunakan untuk membuat kekosongan mesoporous pada zeolit setelah kalsinasi. Akan tetapi, metode ini membutuhkan material karbon dalam jumlah yang tinggi dan pembatasan jumlah aluminium ke dalam struktur. Penggunaan template TPAOH pada saat sintesis menggunakan metode *hydrothermal* banyak digunakan untuk mengurangi kelemahan-kelemahan tersebut (Viswanadham *et al.*, 2008). Pembuatan mesoporous pada zeolit

ZSM-5 dengan metode sintesis *hydrothermal* banyak digunakan pada industri minyak tanah, petrokimia, dan industri *fine chemical*.

Pada makalah ini, akan dilaporkan pengaruh variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, jumlah asam Brønsted dan Lewis pada sintesis ZSM-5 mesoporous dengan menambahkan surfaktan kationik *cetyltrimethylammonium bromide* (CTABr) sebagai pengarah mesostruktur pada *precursor* zeolit.

METODE PENELITIAN

Sintesis ZSM-5 Mesoporous

Kristal mesoporous ZSM-5 disintesis sebagai berikut, pertama gel dibuat dengan komposisi molar: 1 SiO_2 : x Al_2O_3 : 0.2 TPAOH: 38 H_2O , dimana disiapkan sodium aluminat dilarutkan dalam larutan 1 mol/L tetrapropilamonium hidroksida (TPAOH, Merck, 40 % dalam air). Setelah tercampur sempurna, ditambahkan tetraetil ortosilikat (TEOS, Merck, 98 %) dengan ratio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 20, 35, 50 dan 100. Selanjutnya, distirer selama 15 menit dan diautoclave dengan temperatur 60°C selama 24 jam. Kemudian, ditambahkan padatan *Cetyltrimethylammonium Bromida* (CTABr) ($\text{SiO}_2/\text{CTAB} = 3.85$) dan distirer. Kristalisasi gel dihasilkan dengan diautoklaf menggunakan temperatur 150 °C selama 48 jam. Padatan yang terbentuk, disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral. Pengeringan dilakukan dua kali, pertama selama 24 jam pada 60 °C, kedua selama 24 jam pada 110 °C. Surfaktan (CTA^+) dan *template* organik (TPA^+) dihilangkan dengan kalsinasi pada 550 °C selama 10 jam.

Mesoporous ZSM-5 yang telah dibuat, dilakukan *ion-exchange* dengan ammonium asetat (>98 %, Merck) 0.5 N pada 60°C untuk menukar kation Na oleh ion ammonium. sehingga diperoleh H-ZSM-5 dengan kalsinasi pada 550 °C selama 6 jam.

Karakterisasi

Katalis mesoporous ZSM-5 dan Zs/ZSM-5 dengan dengan rasio 10, 20, 30, 40 dan 50 wt% dikarakterisasi dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk identifikasi fase kristal dan kekristalan katalis dengan radiasi $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) pada 40 kV dan 30 mA, 2θ 1,5–40° dengan kecepatan scan 0,02°/detik.

Spektrum inframerah direkam menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dengan pemisahan spektrum 2 cm^{-1} , pada suhu 20 °C dengan metoda pelet KBr. Spektrum direkam pada daerah 4000-400 cm^{-1} dan 1400–400 cm^{-1} .

Analisis keasaman permukaan dilakukan dengan menggunakan adsorpsi piridin. Sampel sebanyak 10 mg diletakkan pada pemegang sampel, dan dimasukkan ke dalam sel kaca yang terbuat dari pirex yang mempunyai jendela terbuat dari kalsium florida, CaF_2 . Selanjutnya, sel kaca dipanaskan pada suhu 400 °C selama 4 jam. Jenis situs asam Brønsted ditentukan menggunakan molekul piridin sebagai basa. Piridin diadsorb pada suhu ruang selama satu jam, dilanjutkan dengan desorpsi pada 150 °C selama tiga jam. Spektra inframerah direkam pada suhu kamar pada daerah 1700–1400 cm^{-1} .

Jumlah sisi asam Brønsted atau Lewis dihitung berdasarkan persamaan yang telah diperkenalkan oleh Emeis (1993) sebagai berikut :

$$\text{Jumlah sisi asam (mmol/g)} = \frac{B \times L}{k \times g} \times 10^{-3}$$

Keterangan :

- Koefisien asam Lewis (k) = 1.42 $\text{cm} \cdot \text{mmol}^{-1}$
- Koefisien asam Brønsted (k) = 1.88 $\text{cm} \cdot \text{mmol}^{-1}$
- B = Luas puncak pita Bronsted atau Lewis (cm^{-1})
- L = Luas disk sampel (cm^2)
- g = Berat disk sampel (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Katalis ZSM-5 Mesoporous

Katalis ZSM-5 mesoporous disintesis secara hidrotermal sesuai dengan metode Goncalves, *et.al.*, 2008. Bahan-bahan utama yang digunakan antara lain Sodium aluminat sebagai sumber alumina yang memiliki kereaktifan tinggi, sehingga lebih mudah untuk digunakan dalam sintesis ZSM-5 (Ismail, *et al.*, 2006), Tetraetiltorosilikat (TEOS) sebagai sumber silika, tetrapropilamoniumhidroksida (TPAOH) sebagai *template* 1 agar terbentuk struktur MFI dengan ukuran partikel kecil, yaitu memiliki diameter 0,3 μm . *Template* 2 digunakan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTABr) sebagai bahan pengarah mesostruktur dan untuk menghasilkan sampel

yang memiliki stabilitas asam dan hidrotermal yang baik (Goncalves *et al.*, 2008).

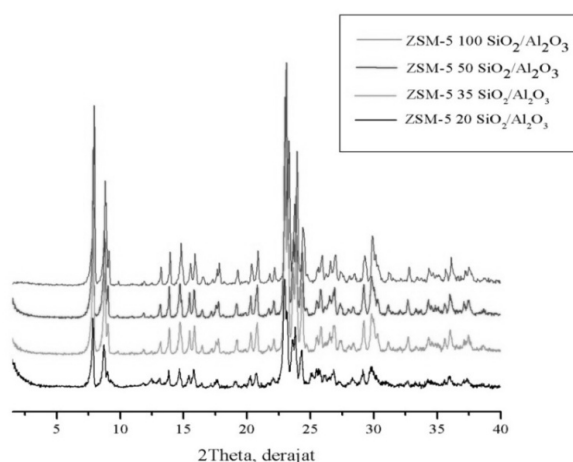
Pada awal sintesis dilakukan percampuran Natrium aluminat dengan larutan TPAOH, disertai dengan pengadukan. Sintesis dilanjutkan dengan penambahan TEOS tetes demi tetes, kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 60°C selama 24 jam untuk terjadinya proses hidrotermal. Gel yang dihasilkan ditambahkan CTABr sebagai pengarah mesostruktur, kemudian dimasukkan kembali ke dalam autoklaf pada suhu 150°C selama 48 jam untuk proses kristalisasi hidrotermal. Selama proses kristalisasi hidrotermal, jaringan Si-O-Al amorf mengandung air dan membentuk struktur ZSM-5. padatan putih yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian pada suhu 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air. Sebagian padatan putih yang dihasilkan kemudian dikalsinasi pada suhu 550°C selama 10 jam untuk menghilangkan templat-templat organik dan untuk pembentukan struktur ZSM-5 mesoporous.

Difraksi Sinar X (XRD)

Teknik XRD digunakan untuk identifikasi fase kristal dan kekristalan katalis dari sampel ZSM-5 mesoporous. Difraktogram yang dihasilkan dari sampel ZSM-5 mesoporous ini dibandingkan antara variasi SiO₂/Al₂O₃ 20, 35, 50 dan 100.

Pola difraksi sinar-X sampel ZSM-5 mesoporous dengan variasi rasio SiO₂/Al₂O₃ ditunjukkan pada Gambar 1. Semua sampel memiliki intensitas puncak yang cukup tinggi di 2θ = 7.8°; 8.7°; 8.8°; 9.0°; 22.9°; 23.2°. Puncak-puncak ini sesuai dengan puncak-puncak ZSM-5 yang berstruktur MFI (Treacy *et al.*, 2001). Hal ini mengindikasikan bahwa semua katalis hasil sintesis termasuk dalam tipe struktur MFI. Struktur MFI ini didapatkan dari penggunaan TPA⁺ sebagai templat. Menurut Gontier *et al.*, (1995), penggunaan TPAOH sebagai templat merupakan pengarah struktur MFI yang baik dan memberikan hasil kristal dengan ukuran partikel kecil yaitu 0,3 μm.

Pola difraksi sinar-X pada Gambar 1 menunjukkan bahwa semua sampel terdiri dari fasa MFI dengan kristalinitas tinggi dan tidak ditemukan fase kristalin yang lain. Rasio SiO₂/Al₂O₃ semakin tinggi, intensitas puncak juga semakin tinggi. Perbedaan intensitas ini diperkirakan terjadi, karena jumlah bidang kristal yang dihasilkan pada masing-masing sampel berbeda, sehingga jumlah sinar yang dipantulkan dari bidang kristal juga akan berbeda. Sampel yang mampu memantulkan sinar lebih banyak akan menghasilkan intensitas yang tinggi, sehingga kristalinitas dari ZSM-5 yang dihasilkan juga semakin tinggi.



Gambar 1. Difraksi Sinar X ZSM-5 dengan Variasi Rasio SiO₂/Al₂O₃ 20, 35, 50, 100

Spektroskopi IR (FTIR)

Spektra Inframerah dari sampel ditunjukkan pada Gambar 2. Pita absorpsi sekitar 1090 cm^{-1} , 790 cm^{-1} dan 450 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan internal dalam tetrahedral SiO_4 (atau AlO_4), dimana puncak ini tidak sensitif terhadap perubahan struktur. Gambar 2 menunjukkan semakin kecilnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, intensitas pita yang terbentuk semakin tinggi. Hal ini menunjukkan semakin terbentuknya Si-O-Si tetra hedral.

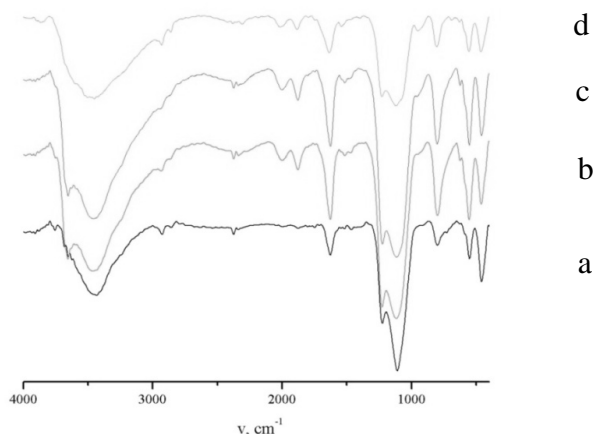
Pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 1100 cm^{-1} merupakan mode vibrasi asimetris Si-O-Si, dan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 800 cm^{-1}

merupakan mode vibrasi simetrinya. Sementara itu, pita absorpsi pada daerah sekitar 1226 cm^{-1} dan 544 cm^{-1} merupakan puncak karakteristik untuk zeolit dengan struktur MFI, yang berhubungan dengan struktur pembangun sekunder zeolit MFI dan sensitif terhadap perubahan struktur.

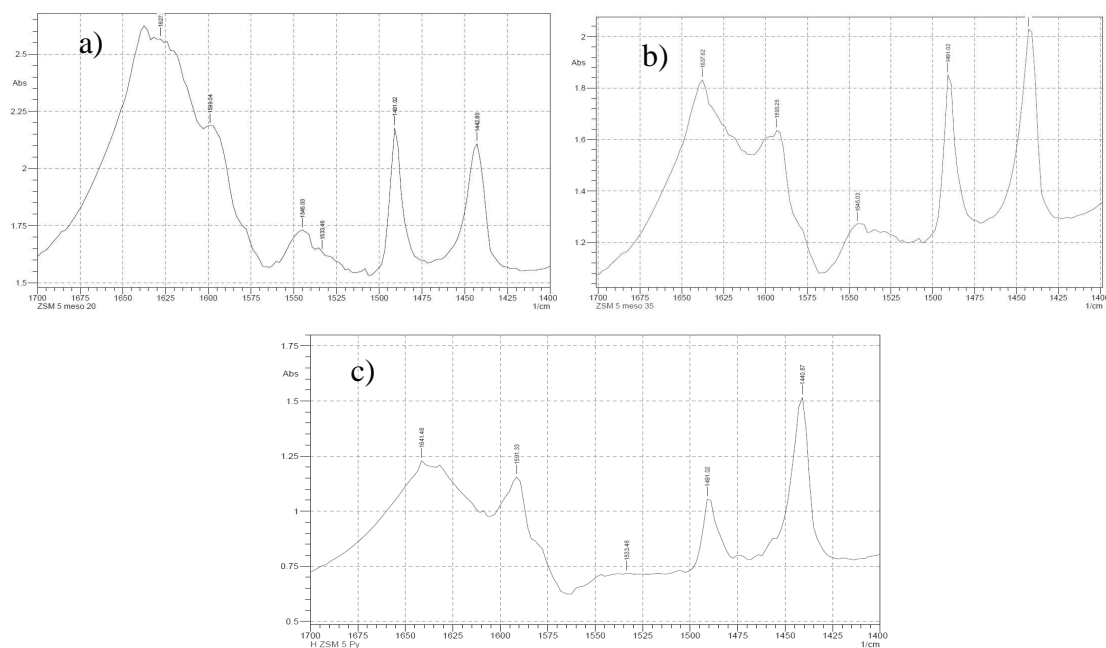
Pada umumnya, pita ini akan bergeser dengan perubahan rasio silikon terhadap aluminium. Oleh karena itu, puncak ini dijadikan dasar untuk mengetahui pembentukan ZSM-5. Pada pita absorpsi sekitar 544 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus pentasil yang merupakan karakteristik dari ZSM-5.

Tabel 1. Bilangan Gelombang dari Spektra Inframerah Sampel (cm^{-1})

Sampel	Regangan TO4			Tekuk T-O	
	Asimetrik		Simetrik		
20 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	1224.84	1109.11	796.63	547.8	457.14
35 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	1224.84	1114.89	798.56	549.73	420.25
50 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	1224.84	1107.18	798.56	549.73	453.29
100 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	1224.84	1105.25	800.49	549.73	453.29



Gambar 2. Gambar Spektra FTIR Sampel a). ZSM-5 20 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, b) ZSM-5 35 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, c) ZSM-5 50 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ d) ZSM-5 100 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$



Gambar 3. Spektra FTIR dari Daerah Piridin Sampel HZSM-5 Rasio a) 20 SiO₂/Al₂O₃ b). 35 SiO₂/Al₂O₃, dan 100 SiO₂/Al₂O₃

Keasaman Permukaan

Uji keasaman sampel dilakukan dengan adsorpsi piridin. Jumlah piridin yang teradsorpsi diamati dengan menggunakan teknik spektroskopi inframerah pada daerah 1700-1400 cm⁻¹. Pita adsorpsi pada daerah piridin (1700-1400 cm⁻¹) ditunjukkan pada Gambar 3

Pada interaksinya dengan sisi asam Brønsted, molekul piridin terprotonasi dan teradsorpsi di bilangan gelombang inframerah spesifik sekitar 1540-1545 cm⁻¹, sedangkan interaksinya dengan sisi asam Lewis terjadi karena pembentukan kompleks ikatan koordinasi antara pasangan elektron bebas dari molekul piridin dengan orbital kosong dari permukaan padatan. Interaksi ini memunculkan pita serapan di daerah inframerah antara 1440-1452 cm⁻¹ (Platon dan Thomson, 2003).

Pada Gambar 3 Spektrum FTIR-piridin HZSM-5 memperlihatkan pita absorpsi pada bilangan gelombang disekitar 1440-1442.80 cm⁻¹ yang menunjukkan sisi asam Lewis. Sedangkan pita absorpsi pada bilangan gelombang disekitar 1545 cm⁻¹ menunjukkan sisi asam Brønsted. Semakin kecil rasio SiO₂/Al₂O₃, intensitas pita absorpsi sisi asam Brønsted (1545 cm⁻¹) semakin tinggi. Hal ini menunjukkan semakin meningkatnya jumlah

asam Brønsted pada rasio SiO₂/Al₂O₃ yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Goncalves, Marli Lansoni, Ljubomir D. Dimitrov, Maura Hebling Jordaõ, Martin Wallau, Ernesto A. Urquieta-Gonzalez, (2008), "Synthesis of Mesoporous ZSM-5 by Crystallisation of Aged Gels in The Presence of Cetyltrimethylammonium Cations", *Catalysis Today*, Vol. 133-135, hal. 69-79.
2. Abello, Sonia, Adriana Bonilla, Javier Pérez-Ramírez, (2009), "Mesoporous ZSM-5 zeolite catalysts prepared by desilication with organic hydroxides and comparison with NaOH leaching", *Applied Catalysis A: General*, Vol. 364 hal. 191-198.
3. Taguchi, Akira, Ferdi Schu"th, 2004, *Ordered Mesoporous Materials In Catalysis, Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 77, hal. 1-45.
4. Ulagappan, N. and C. N. R. Rao, (1996), Evidence for supramolecular organization of alkane and surfactant molecules in the process of forming mesoporous silica, *Chem. Commun.* hal. 2759 - 2760.

5. Viswanadham, N., Raviraj Kamble, Madhulika Singh, Manoj Kumar, G. Murali Dhar, (2008), Catalytic properties of nano-sized ZSM-5 aggregates, *Catalysis Today*, Vol. 141, hal. 182–186.
6. Emeis C. A. (1993), "Determination of Integrated Molar Extinction Coefficients for Infrared Absorption of Pyridine Adsorbed on Solid Acid Catalysts", *Journal of Catalysis*, Vol. 141, hal. 347-354.
7. Ismail, A.A., Mohaned, R.M., Fouad, O.A., Ibrahim, I.A., (2006). "Synthesis of Nanosized ZSM-5 Using Different Alumina Sources". *Crystal Research* (2002), "Synthesis of Titanium Silicalite (TS-1) from the TPABr System and Its Catalytic Properties for Epoxidation of Propylene", *Catalysis Today*, Vol. 74, hal. 65–75.
8. Treacy, M.M.J., Higgins, J.B., (2001), *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites 4th edition*, Structure Commission of the International Zeolite Association, Elsevier.
9. Gontier, S. dan Tuel, A. (1996), "Synthesis of Titanium Silicalite-1 Using Amorphous SiO₂ as Silicon Source", *Zeolites*, Vol. 16, hal. 184-195.
10. Platon, A. and Thomson. W. J. (2003), "Quantitative Lewis/ Brønsted Ratios using DRIFTS", *Applied Catalysis Industrial Engineering Chemistry Research*, Vol.42, hal. 5988-5992.

SINTESA DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT ZEOLIT-RESIN POLIMETAKRILAT

Yusuf Nampira

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Email: ynampira@gmail.com

ABSTRAK

Komposit zeolit-resin polimetakrilat telah dibuat dengan berbagai komposisi zeolit dalam komposit. Komposit dibuat melalui beberapa komposisi campuran homogen serbuk zeolit dengan serbuk tetrahidro furfuryl metakrilat, polimerisasi metakrilat dilakukan melalui fase pasta dengan mencampurkan 1 ml larutan campuran tetrahidro furfuryl metakrilat dan hidroksi propil metakrilat. Bagian besar zeolit dalam komposit yang dihasilkan berada dalam fasa larutan polimer. Keseimbangan antara bahan pendukung dan bahan matrik diantara zeolit dalam komposit zeolit-resin poli metakrilat diperoleh pada fraksi zeolit dalam komposit antara 46,67% berat sampai dengan 70% berat. Kekuatan dan kekerasan komposit zeolit-resin polimetakrit tergantung pada keseimbangan antara zeolit dan resin polimetakrilat. Kekerasan optimum dari komposit ini mencapai nilai $29,7 \text{ N/cm}^2$, yang diperoleh dari komposit yang mempunyai fraksi zeolit sebesar 46,67% berat.

Kata Kunci : Sintesa, karakterisasi, komposit, zeolit, resin metakrilat

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE ZEOLITE-RESIN POLYMETHACRYLATE.
Composite of Zeolite-resin polymethacrylate have been made with various compositions of zeolite on composite. The composite were made by homogenous mixture of zeolite powder with powder of tetrahydro furfuryl methacrylate, methacrylate polymerization which was conducted by pasta phases with mixing 1 ml mixture solution of tetrahydro furfuryl methacrylate and hydroxy propyl methacrylate. A big part of zeolite in product composite was in the polymer solution phase. The balance between supporting material and matrix material around the zeolite on composite of zeolite-resin polymethacrylate obtained on the fraction of zeolite in the composite between the 46.67% of weight up to 70% of weight. Strength and hardness of zeolite-resin polymethacrylate depends on balance between zeolite and resin polymethacrylate. The optimum hardness of this composite reaches value of $29,7 \text{ N/cm}^2$, which obtained from composite that have a fraction zeolite 46,67% of weight.

Keywords: Synthesis, characterization, composites, zeolite, methacrylate resin

PENDAHULUAN

Pemantauan proses produksi maupun analisis kualitas suatu produk dalam suatu industri seringkali dilakukan dengan cara analisis dengan tidak merusak. Pemantauan/analisis tersebut didasarkan pada pengukuran intensitas radiasi gelombang elektromagnetik yang menembus obyek yang dipantau atau produk yang dianalisis sebagai bahan indikator. Sifat gelombang elektromagnetik umumnya bila melalui suatu bahan gelombang tersebut sebagian terserap oleh bahan yang dilalui, sebagian dipancarkan dan sebagian lagi diteruskan. Berdasarkan sifat tersebut pemantauan/analisis dengan cara tidak merusak dilakukan. Berbagai jenis gelombang elektromagnetik digunakan untuk kegiatan tersebut, diantaranya adalah radiasi

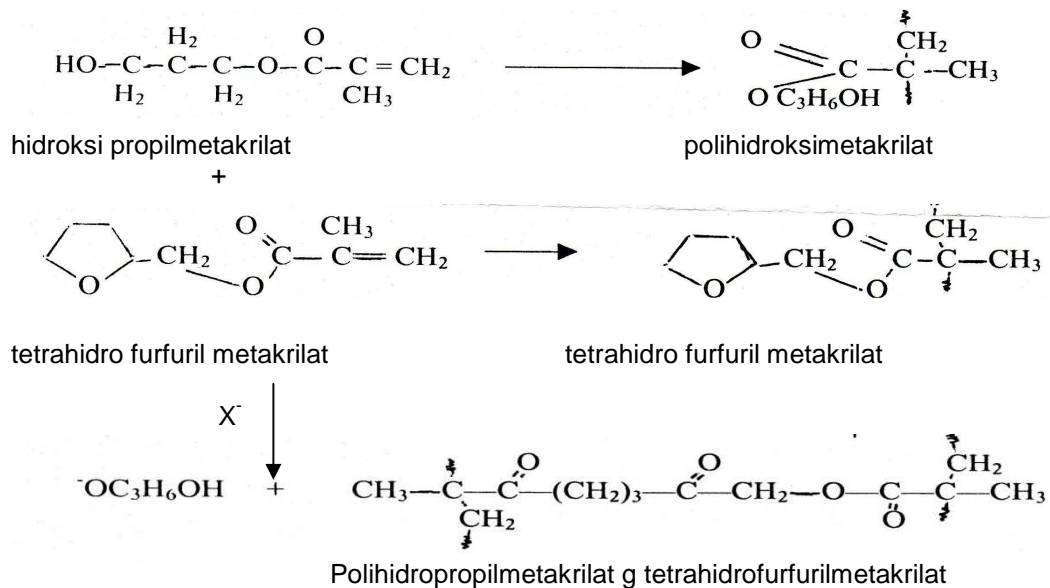
sinar gamma. Sinar tersebut dihasilkan dari suatu peluruhan inti radioaktif pemancar gamma, diantara bahan radioaktif yang sering digunakan dalam sumber radiasi adalah Cesium-137. Bahan radioaktif ini termasuk dalam bahan yang berbahaya bila tersebar ke lingkungan. Oleh sebab itu, dalam penggunaan bahan radioaktif tersebut dibuat suatu bahan padat. Penahan penyebaran dapat dilakukan dengan cara membungkusnya dengan pembungkus logam atau keramik atau mengikat bahan radioaktif tersebut dengan suatu matrik sehingga dapat dibentuk suatu padatan. Cara penahanan dengan ikatan ini dikenal dengan teknik solidifikasi. Bahan matrik dan bahan pengikat yang digunakan untuk proses solidifikasi tersebut harus dipilih agar hasil solidifikasi tersebut memenuhi beberapa persyaratan diantaranya kekerasan, kuat tekan dan kuat

mengikat bahan radioaktif tersebut serta tahan terhadap radiasi pengion.

Beberapa komposit bahan anorganik dengan bahan polimer mempunyai sifat tangguh diantaranya komposit serbuk atau serat silika sebagai bahan pendukung dengan matrik dari bahan elastomer (poliester, epoksi, dan resin phenol) digunakan sebagai bahan bangunan atau bahan *engineering*^[1], sedangkan komposit zeolit-polimer digunakan dalam proses pemisahan bahan dalam uap, gas maupun dalam cairan^[2]. Hal ini sesuai dengan struktur zeolit yang mempunyai jaringan lorong dan rongga atau pori yang tersusun dari SiO₄ dan AlO₄^[3], Cesium (Cs) akan terserap oleh zeolit melalui proses serapan permukaan dan terjebak dalam lorong dalam struktur zeolit, berdasarkan mekanisme serapan ini maka diharapkan jumlah Cs yang terikat dalam zeolit akan lebih banyak dibandingkan dengan bahan mineral lainnya lain yang mengikat Cs berdasarkan serapan pada permukaan^[4]. Adapun zeolit banyak terdapat sebagai mineral yang terdapat di alam, sehingga bahan ini banyak di alam dan mudah diperoleh.

Sedangkan polimer yang digunakan sebagai pengikat/matrik dalam pembuatan komposit zeolit-polimer untuk solidifikasi sumber radioaktif harus mempunyai ketahanan terhadap radiasi pengion, bersifat termoset, ketahanan mekanik yang baik dan tidak biodegradable. Beberapa jenis polimer yang mempunyai sifat tersebut diantaranya polimetakrilat. Polimetakrilat mempunyai sifat mekanik dan termal yang baik, kekerasan polimer ini meningkat sesuai dengan kenaikan temperatur dan maksimum (2,39 kpsi) pada temperatur 373 °C, sedang kenaikan temperatur menurunkan modulus elastis nya^[5].

Berdasarkan sifat zeolit dan polimetakrilat di atas maka komposit antara kedua bahan tersebut, sehingga komposit merupakan bahan yang memungkinkan untuk dapat digunakan dalam dalam solidifikasi sumber radiasi yang diinginkan. Adapun kekuatan komposit ini sangat dipengaruhi oleh komposisi dan homogenitas bahan pendukung (zeolit) dengan bahan matrik (resin polimetakrilat). Reaksi yang terjadi dalam pembuatan resin polimetakrilat adalah sebagai berikut :



Karena kekuatan ikatan partikel dalam komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan ikatan bahan matrik, maka polimerisasi yang berlangsung dalam pembuatan komposit harus berjalan dengan sempurna. Sedangkan karakter zeolit mudah menyerap cairan, sehingga proses polimerisasi dalam pembuatan komposit ini membutuhkan pelarut yang lebih banyak bila dibandingkan

dengan penggunaan pelarut dalam pembuatan polimer resin polimetakrilat.

Guna memperoleh komposit zeolit-resin polimetakrilat yang mempunyai kekuatan solidifikasi yang diinginkan maka pengaruh komposisi zeolit dengan serbuk metakrilat dan larutan metakrilat dalam pembentukan

komposit terhadap kekerasan komposit dilakukan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk zeolit dari Lampung (100 mesh digunakan sebagai bahan pendukung komposit, larutan campuran tetrahidrofurfuril metakrilat dengan hidroksi propil metakrilat dan serbuk tetrahidro furfuril metakrilat mengandung katalis tris-dimetilamino-sulfonium bifluorida merupakan bahan polimer yang digunakan sebagai matrik komposit, sedangkan pipa pralon sebagai bahan untuk mencetak komposit.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan elektronik digunakan untuk menimbang serbuk zeolit dan serbuk resin metakrilat, pipet ependorf digunakan untuk mengukur larutan polimer, gelas beker untuk mencampur zeolit dan bahan serbuk resin polimer serta tempat reaksi polimerisasi, janka sorong digunakan untuk mengukur dimensi resin polimetakrilat Fluoresensi sinar-x digunakan untuk menganalisis unsur kimia dan homogenitas zeolit dan resin dalam komposit zeolit-resin polimetakrilat yang dihasilkan, *image* distribusi zeolit dan resin polimetakrilat dilihat dengan mikroskop optik dan *Versatile digital microscope*, mikrohardness tester vickers/brinnel wolpert digunakan untuk menentukan kekerasan komposit.

Metodelogi

Kandungan unsur dalam bahan zeolit ditentukan dengan mengukur 50 mg serbuk zeolit menggunakan fluoresensi sinar-x, standar yang digunakan dalam analisis adalah standar mordenit dan standar Buffalo River Sediment (SRM-274).

Resin polimetakrilat dengan kandungan berbagai berat antara 0,3 g sampai 1,2 g tetrahidrofurfuril metakrilat masing masing dicampur dengan 1 ml larutan campuran tetrahidrofurfuril metakrilat dan hidroksi propil metakrilat diaduk hingga homogen, adanya katalis dalam serbuk resin maka terjadi reaksi polimerisasi, masing masing resin yang masih dalam proses reasi dimasukkan dalam cetakan pralon didiamkan hingga kering, resin polimetakrilat yang dihasilkan dianalisis homogenitas nya dengan menggunakan mikroskop optik dan *Versatile digital microscope* serta kekerasannya ditentukan dengan mikrohardness tester.

Berbagai komposit yang dibuat dari 1,5 g campuran zeolit-resin polimetakrilat dengan komposisi zeolit dengan serbuk tetrahidro furfuril metakrilat antara 40 % (perbandingan zeolit/serbuk tetrahidro furfuril metakrilat = 3/12) sampai dengan 80 % (perbandingan zeolit/serbuk tetrahidro furfuril metakrilat = 6/9) = berat ditambah dengan 1 ml larutan campuran tetrahidrofurfuril metakrilat dan hidroksi propil metakrilat diaduk hingga homogen. adanya katalis dalam serbuk resin maka terjadi reaksi polimerisasi, masing masing resin yang masih dalam proses reasi dimasukkan dalam cetakan pralon didiamkan hingga kering, resin polimetakrilat yang dihasilkan dianalisis homogenitas nya dengan menggunakan fluoresensi sinar-x, mikroskop optik dan *Versatile digital microscope* serta kekerasannya ditentukan dengan *mikrohardness tester*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

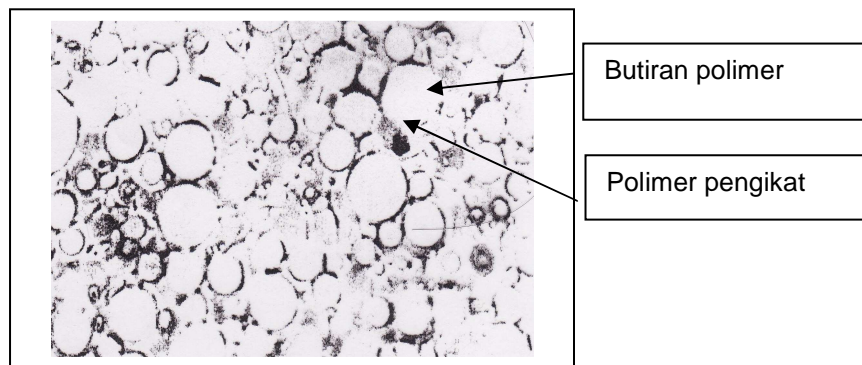
Image mineral zeolit yang berasal dari daerah Lampung merupakan serbuk yang pemukaannya tidak haus (Gambar 1), mineral ini mengandung unsur utama Al dan Si, disamping itu mengandung unsur K,Ca dan Fe. Kandungan masing masing unsur tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Serpihan Zeolit Lampung yang Diambil Melalui Digital Image dengan Perbesaran 200 Kali

Tabel 1. Kandungan unsur kimia dalam mineral zeolit Lampung

Unsur Kimia	Kandungan dalam zeolit (% berat)
Al	6,77 ± 0,21
Si	32,46 ± 0,13
K	1,26 ± 0,06
Ca	0,47 ± 0,03
Fe	0,54 ± 0,03
Oksigen dan unsur lain	58,5 ± 1,46



Gambar 2. Mikrostruktur Resin Polimetakrilat (Perbesaran 200x)

Kandungan unsur Si dan Al dalam mineral ini menunjukkan bahwa zeolit Lampung termasuk dalam kelompok zeolit dengan kandungan silika sedang.

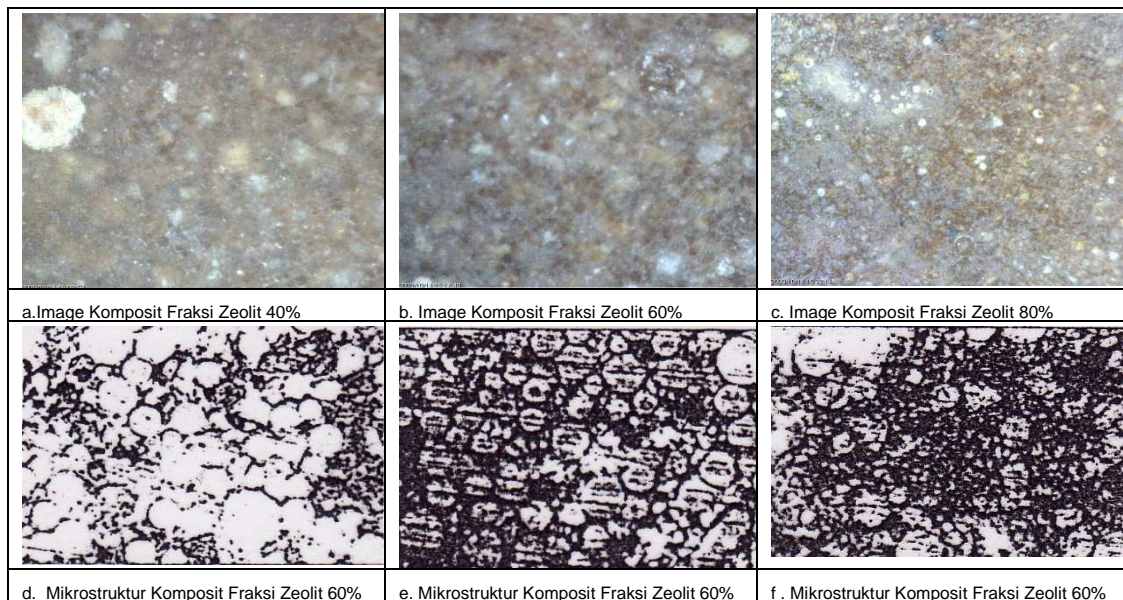
Hasil pengamatan *image* dan mikrostruktur resin polimetakrilat dari hasil reaksi antara serbuk tetrahidro furfural metakrilat dengan larutan campuran tetrahidrofurfural metakrilat dan hidroksipropil metakrilat (Gambar 2) menunjukkan bahwa polimer yang dihasilkan tersusun dari polimer butiran yang didominasi oleh poli tetrahidrofurfural metakrilat berfungsi

sebagai polimer pendukung, yang dikelilingi oleh polihidroksipropilmetakrilat g tetrahidrofurfural metakrilat.

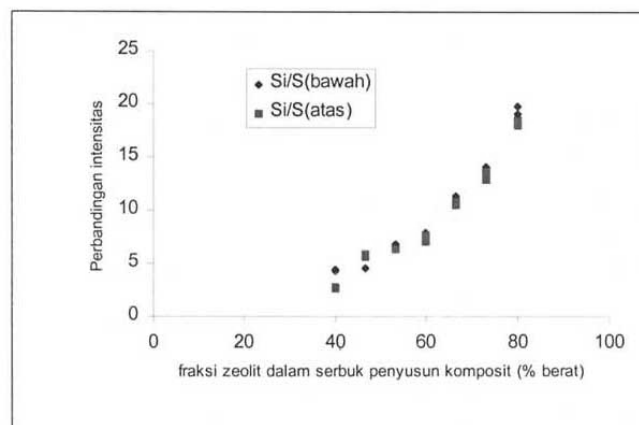
Komposit zeolit-resin polimetakrilat yang dihasilkan berupa suatu padatan yang menyatu Peningkatan fraksi zeolit dalam pembuatan komposit, hal ini menyebabkan terjadinya kompetisi antara larutan monomer yang diserap oleh zeolit dengan larutan monomer yang berkontribusi dalam proses reaksi polimerisasi. Dalam komposit ini serbuk zeolit berada dalam larutan polimer

dan diantara butiran polimer. Peningkatan kandungan zeolit tersebut menyebabkan distribusi zeolit sebagai bahan pendukung komposit semakin besar dalam komposit sedangkan jumlah resin polihidroksi-poli-metakrilat g tetrahidrofurfuril metakrilatpoli-metakrilat yang berfungsi sebagai polimer pendukung dalam komposit semakin kecil Gambar 3,. Pada komposit dengan fraksi zeolit lebih kecil dari 50% berat, kapasitas polimer sebagai pengikat lebih besar dibandingkan zeolit dalam komposit sehingga zeolit lebih banyak mengumpul pada bagian bawah, sedangkan makin tinggi fraksi zeolit dalam komposit akan menghasilkan komposit yang makin homogen karena bahan pendukung dalam komposit tersebut dapat memenuhi dukungan polimer yang mengikat, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4 yaitu

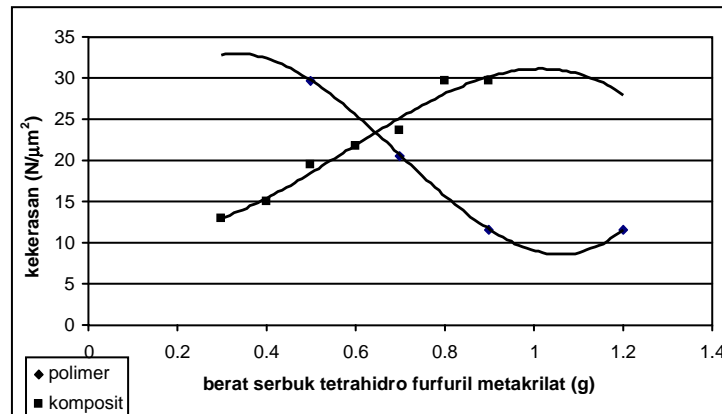
perbandingan intensitas flouresensi sinar-x dari unsur Si (unsur penyusun zeolit) dan unsur S (unsur katalis polimer) dari bagian bawah komposit dan bagian atas komposit memberikan nilai yang sama. Komposit yang mempunyai fraksi zeolit tinggi ikatan polimetakrilat dalam komposit semakin kecil, kempetisi antara serapan zeolit dan serbuk tetrahidrofurfuril metakrilat untuk proses polimerisasi terhadap larutan bahan polimer makin besar. Fraksi serbuk tetrahidrofurfuril metakrilat semakin kecil menyebabkan volume polimer yang digunakan untuk mengikat semakin kecil, keadaan ini ditunjukkan oleh komposit dengan fraksi serbuk polimer 26.67 atau fraksi zeolit di atas 73.33% berat (zeolit/serbuk polimer 6/9) ikatan polimer terhadap zeolit yang berada di permukaan semakin turun.



Gambar 3. Image dan Mokostruktur Komposit dengan Berbagai Kandungan Zeolit



Gambar 4. Perbandingan Intensitas Flouresensi Unsur Si (Unsur Penyusun Sinar-X Zeolit) terhadap Unsur S (Komponen dalam Katalis Polimer)



Gambar 5. Perbandingan Kekerasan Resin Polimer dengan Komposit yang Dihasilkan dari Berbagai Kandungan Serbuk Tetrahidrofurfuryl Metakrilat

Pada resin polimetakrilat semakin tinggi kandungan bahan polimer serbuk akan menyebabkan penurunan kekerasan sedangkan pada komposit zeolit-resin polimetakrilat dengan penambahan zeolit akan meningkatkan kekuatan dukung zeolit pada komposit. Sesuai dengan fungsi zeolit dalam komposit ini sebagai bahan pendukung, maka kekuatan ikatan polimer terhadap zeolit semakin kecil. Hal ini akan menurunkan kekerasan komposit ditunjukkan dengan kekerasan dari komposit yang dihasilkan (Gambar 5).

Pembandingan kekerasan polimetakrilat murni yang dibuat dari serbuk tetrahidrofurfuryl metakrilat dengan komposit yang dihasilkan dari zeolit yang diikat dengan resin metakrilat menunjukkan bahwa kekerasan komposit ini akan lebih tinggi bila fraksi zeolit lebih kecil dibanding dengan fraksi pendukungnya yaitu lebih kecil dari 46,67% berat (berat serbuk tetrahidrofurfuryl metakrilat 0,8 g, zeolit 0,7g dan larutan polimer 1 ml). Hal ini menunjukkan bahwa komposisi zeolit/polimer 7/8 telah terjadi keseimbangan antara bahan pendukung dengan bahan pengikat.

KESIMPULAN

Zeolit dalam komposit yang dihasilkan sebagian besar berada dalam fasa larutan polimer. Keseimbangan antara zeolit dan Resin poli metakrilat diperoleh pada fraksi zeolit dalam komposit antara 46,67% berat

sampai dengan 70% berat, sedangkan kekuatan dan kekerasan komposit ini dipengaruhi fraksi resin polimetakrilat. Kekerasan optimum dengan nilai 29,7 N/mm² pada komposit yang mempunyai fraksi zeolit sebesar 46,67% berat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Douglas M.Cousidin, 1974," Chemical and Process Technology Enciclopedia", Mc.Graw Hill Book Company, 413-416
2. Meng-Dong Jia, Baoshu Chen, Richard D. Noble, John L. Falconer, 1994, "Ceramic-zeolite Composite Membranes and Their Application for Separation of Vapor/Gas Mixtures", Journal of Membrane Science, 1-10.
3. Pecover,S.R., 1987, "A Review of The Formation and Geology Natural Zeolites", Natural Zeolites, G.G. Holmes and Pecover, S.R (ed), New South Wales Geological Survey Report GS 145, Departement of Mineral Resources, Sydney, 11-24.
4. Dian A, Siti A, Y. Nampira, Novianti, 1991, "Pemanfaatan zeolit Lampung untuk penukar kation Cs dari larutan radioaktif hasil fisi", Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir VI, P2TBDU-BATAN, Jakarta, 229-234.
5. Eric A. Grulke, 1974, " Polimer Process Engineering",PTR Prentice Hall Engelwood Cliffts, New Jersey, 413-418.

PEMANFAATAN ZEOLIT SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BIOPESTISIDA BERBAHAN AKTIF NEMATODA *STEINERNEMA SPP.* BERBENTUK GRANULER

Bambang Setyobudi* dan Wagiyana

Fakultas Pertanian Universitas Jember
No HP. 0816596073*; Email: bangsetyob@faperta.unej.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian tentang biopestisida berbentuk granuler telah dilakukan dengan memanfaatkan zeolit dan vertisol. Kedua bahan tersebut digunakan sebagai media yang berfungsi untuk menyimpan *Steinernema*. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan metoda dan formula untuk menghasilkan biopestisida berbentuk granuler berbahan aktif nematoda yang memiliki viabilitas dan efektifitas tinggi serta dapat bertahan lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metoda tetes pada bahan kombinasi campuran zeolit dan vertisol menghasilkan granula berdiameter ± 8 mm dan berat ± 0.3 g. Biopestisida berbentuk granuler hasil campuran zeolit, vertisol dan *Steinernema spp.* dapat mempertahankan viabilitas *Steinernema spp.* hingga minggu ke sembilan. Formula untuk menghasilkan Biopestisida berbentuk granuler yang efektif hingga minggu ke sembilan adalah kombinasi campuran 50% hingga 75% zeolit terhadap vertisol.

Kata kunci: Biopestisida Granuler, Vertisol, Zeolit, *Steinernema*

ABSTRACT

THE UTILIZATION OF ZEOLITE AS MATERIAL PRODUCTION OF BIOPESTICIDE ACTIVE NEMATODA *STEINERNEMA SPP.* WITH GRANULAR SHAPED. The study about biopesticide granular shaped has been conducted by utilizing zeolite and vertisol. Both materials are used as media that functions to storage *Steinernema*. The purpose of this study was to find method and formulas to produce biopesticide active nematodes with granular shaped that have high viability and effectiveness and can last long live. The result showed that drop method on combination of zeolite and vertisol material produce granule with ± 8 mm diameter and weight of ± 0.3 g. Biopesticide on granule shape that mixture result of zeolite, vertisol, and *Steinernema spp.* able to maintain viability of *Steinernema spp.* until nine weeks. The formulas to produce granule biopesticide an effective until nine weeks is a combinations of mixture 50% up to 75% zeolite on vertisol.

Keywords: granule biopesticide, vertisol, zeolite, and steinernema

PENDAHULUAN

Nematoda entomopatogen (NEP) dari genus *Steinernematidae* sangat potensial untuk mengendalikan serangga hama, baik ordo Lepidoptera, Coleoptera dan Diptera (Poinar, 1979; Chaerani *et al.*, 1995; Sulistyanto dan Ehlers, 1996). *Steinernematidae* juga merupakan parasit yang efisien bagi serangga yang hidup di tanah atau pada stadia tertentu hidup dalam tanah (Wooding, 1998). Kelebihan lain nematoda entomopatogen yaitu mempunyai sifat virulensi terhadap inangnya, membunuh serangga inang dengan cepat, mempunyai kisaran inang yang luas, tidak berbahaya bagi organisme bukan sasaran, mempunyai potensial yang tinggi dan dapat dengan mudah dibiakkan secara *in vitro* (Kaya dan Gaugler, 1993). Laboratorium Program studi hama penyakit tanaman Fakultas Pertanian

Universitas Jember telah berhasil mengisolasi dan mengembang biakkan nematoda pathogen serangga *Steinernema* serta telah memproduksinya dalam bentuk formulasi cair dikemas dalam spon yang disimpan dalam lemari pendingin (Wagiyana, 2007).

Problem utama dalam menangani hasil produksi masal nematode entomopatogen adalah formulasi dan penyimpanan agar dapat digunakan setiap waktu serta di tempat yang jauh dari tempat produksi masal. Sehingga diperlukan formulasi tertentu agar dapat mudah diaplikasikan dan tahan lama di dalam penyimpanan (Georgis, 1990).

Teknis penyimpanan dan formulasi harus menyediakan kondisi optimum untuk menjamin daya tahan hidup yang optimum dan stabilitas infektivitas NEP. Pemanfaatan vertisol yang memiliki kemampuan daya

mempertahankan lengas yang tinggi dan zeolit yang memiliki kemampuan menyerap air dan melepaskan kembali belum pernah dilakukan. Perbedaan sifat vertisol dan zeolit dalam menahan air ini dimanfaatkan sebagai media yang berfungsi untuk penyimpan *Steinernema*. Vertisol yang memiliki kemampuan menahan lengas tinggi (Velde, 1992) diharapkan dapat berperan sebagai bahan yang dapat menciptakan lingkungan nematoda tetap lembab seperti keadaan dalam tanah. Sedangkan, Zeolit yang memiliki rongga-rongga dan air dapat bergerak bebas serta kemampuan menahan lengas lebih rendah (Sutarti dan Racmawati, 1994) diharapkan dapat berfungsi sebagai penyerap air dan penyedia oksigen. Dengan cara membuat campuran bahan berkomposisi vertisol, zeolit, *Steinernema* dalam perbandingan tepat diharapkan dapat dihasilkan masa berbentuk granuler yang memiliki kelengasan sesuai dengan ekologi *Steinernema*. Sehingga dapat menghasilkan biopestisida yang dapat mempertahankan viabilitas dan daya infeksiya dalam jangka waktu lama serta mudah diaplikasikan.

Penelitian yang sedang dilakukan ini bertujuan mendapatkan metoda dan formula untuk menghasilkan biopestisida berbentuk granuler berbahan aktif nematoda yang memiliki viabilitas dan infeksiyitas tinggi serta dapat bertahan lama.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

- Nematoda *Steinernema* yang digunakan adalah hasil produksi dan koleksi dari Laboratorium Pengendalian Hayati Jurusan HPT Fakultas Pertanian UNEJ
- Ulat Hongkong
- Vertisol yang digunakan di ambil dari Ngawi, Jawa Timur
- Zeolit yang digunakan berasal dari Jawa Barat

Proses Pencampuran Vertisol dan Zeolit

- Bahan vertisol dan zeolit setelah dikering anginkan digiling menjadi bentuk tepung.
- Vertisol dan zeolit dicampur secara homogen dengan kombinasi berat sebagai berikut :
 - 0% Zeolit + 100% Vertisol
 - 25% Zeolit + 75% Vertisol
 - 50% Zeolit + 50% Vertisol
 - 75% Zeolit + 25% Vertisol

- 100% Zeolit + 0% Vertisol
- Masing-masing kombinasi ditambah bahan perekat sebanyak 2% berdasarkan berat
 - Campuran tersebut selanjutnya ditetapkan kapasitas menahan air (KMA) dan kapasitas lapangnya (KL).
 - Campuran tersebut selanjutnya dikondisikan pada kandungan air kapasitas lapang, dan diayak dengan menggunakan ayakan halus, dan diseterilisasi.

Pembuatan Granula Berbahan Aktif *Steinernema spp.*

- Siapkan bahan campuran Vertisol-Zeolit dengan kombinasi tertentu.
- Siapkan inokulan *Steinernema spp.* dengan kepekatan 10^8 ij/100 ml.
- Dengan menggunakan pipet tetes, ambil inokulan dan teteskan pada bahan.
- Segera digoyang dengan arah memutar.
- Granula yang terbentuk dimasukkan kedalam toples dengan tutup tanpa seal.
- Inkubasikan ditempat yang redup pada kondisi temperatur ruang.

Uji Viabilitas *Steinernema spp.*

Pengamatan terhadap viabilitas nematoda yang hidup pada granula yang diinkubasi dengan metoda sebagai berikut :

- Ambil satu butir granula dan ditimbang
- Granula ditetesi dengan air secukupnya untuk selanjutnya diamati dengan counting disk dibawah mikroskop cahaya binokuler.
- Nematoda yang telah dihitung, digunakan sebagai bahan inokulan.
- Pekerjaan a. , b., c. diulang sebanyak tiga kali.

Uji Efektivitas *Steinernema spp.*

Pengamatan infektivitas *Steinernema spp.* terhadap Ulat Hongkong (*T. molitor*). dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 20 ekor Ulat Hongkong dimasukkan dalam petridisk yang diberi alas kertas saring.
- Selanjutnya masukkan nematoda dengan menggunakan pipet tetes.
- Diamati mortalitas ulat setiap hari hingga hari ke lima.
- Granula dianggap efektif apabila mortalitas ulat Hongkong $\geq 80\%$ serta dicapai dalam tempo ≤ 3 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Menahan Air (KMA) dan Kapasitas Lapang (KL)

Hasil percobaan menunjukkan bahwa vertisol memiliki kapasitas menahan air yang lebih tinggi dibandingkan zeolit (Gambar 1.). Akibatnya pada pencampuran zeolit dengan vertisol menunjukkan hubungan semakin tinggi kadar zeolit akan semakin menurun kapasitas menahan air (KMA) dan kadar air kapasitas lapangnya (KL). Penurunan tersebut dapat digambarkan dengan persamaan regresi secara berturut-turut sebagai berikut : $y = -0.58x + 114$ dan $y = -0.47x + 73$

Adanya perbedaan kadar lengas tersebut akan menyebabkan perbedaan komposisi kandungan lengas dan udara yang nilainya tergantung dari kombinasi campuran zeolit dan vertisol. Hal ini selanjutnya akan menentukan jumlah kandungan air dan udara dalam granula yang terbentuk dari hasil

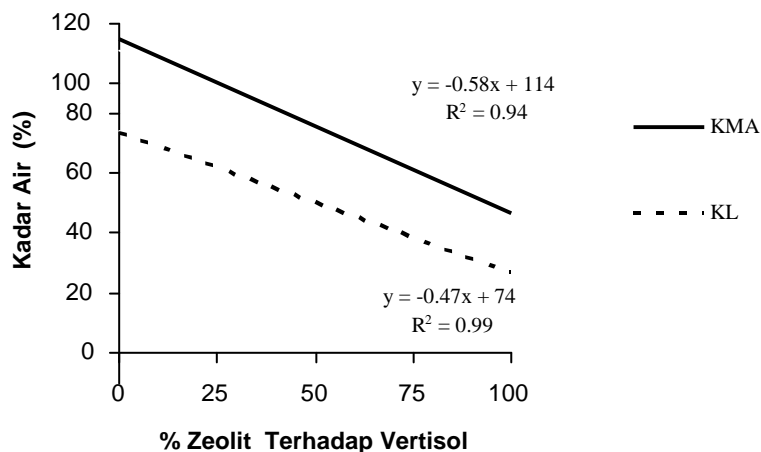
pencampuran bahan tersebut. Selisih kadar lengas KMA - KL menggambarkan jumlah kandungan udara yang ada dalam granula.

Pembentukan Biopestisida Granuler

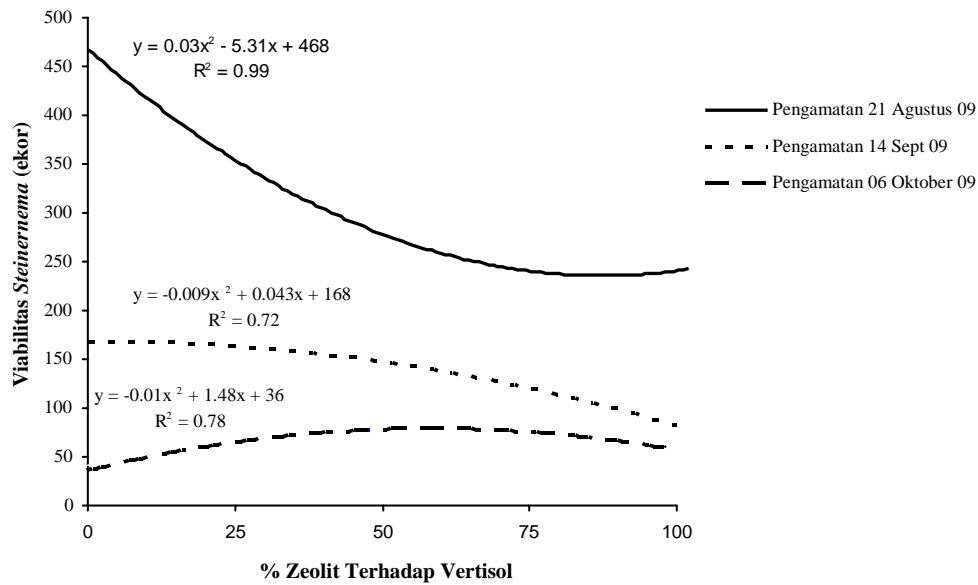
Metoda pembuatan yang dikerjakan secara manual dalam percobaan ini menghasilkan diameter dan berat granula yang bervariasi. Pengukuran secara acak diperoleh hasil: diameter ± 8 mm, dan berat ± 0.3 g.

Viabilitas dan Efektivitas Steinernema

Viabilitas instar juvenile (ij) Steinernema menunjukkan penurunan yang berkaitan dengan lamanya masa penyimpanan dan peningkatan kadar Zeolit dalam kombinasi bahan campuran pembuatan granula. Penurunan tersebut dapat digambarkan dengan persamaan regresi sebagai berikut: pada pengamatan 21 Agustus 09 $y = 0.03x^2 - 5.31x + 468$; 14 September 09 $y = 0.009x + 0.043x + 168$ dan tanggal 06 Oktober 09 $y = -0.01x^2 + 1.48x + 36$.



Gambar 1. Hubungan Kombinasi Campuran Zeolit dan Vertisol dengan Kadar Air Kapasitas Lapang (KL) dan Kapasitas Menahan Air (KMA)



Gambar 1. Hubungan Kombinasi Campuran Zeolit dan Vertisol dengan Viabilitas *Steinernema* spp.

Uji efektivitas dengan menggunakan Ulat Hongkong menunjukkan bahwa mortalitas $\geq 80\%$ menunjukkan kecepatan yang berbeda-beda (Gambar 3). Perbedaan tersebut tergantung dari lamanya inkubasi (penyimpanan) granula dan kombinasi campuran zeolit dengan vertisol. Pada dua minggu setelah inkubasi granula tidak menunjukkan terjadinya mortalitas ulat $\geq 80\%$ untuk semua kombinasi campuran. Pada inkubasi hingga minggu ke 6 terjadi mortalitas ulat $\geq 80\%$ untuk semua kombinasi. Sedangkan, inkubasi hingga minggu ke sembilan mortalitas $\geq 80\%$ terjadi pada granula hasil kombinasi 50% zeolit + 50% vertisol dan 75% zeolit + 25% vertisol.

Belum terjadinya mortalitas $\geq 80\%$ pada 2 minggu setelah inokulasi, kemungkinan masih tercukupinya persediaan makanan yang terbawa bersama media pembiakan in vitro yang menyebabkan nematoda kurang reaktif terhadap ulat. Dijelaskan oleh Wagiyana dkk. 2007, bahwa nematoda akan berkembang biak dengan pesat pada media "Bedding".

Kombinasi campuran zeolit dan vertisol menentukan kesesuaian media untuk nematoda dapat bertahan hidup (viable) lebih lama. Campuran tersebut akan menghasilkan perbedaan komposisi kandungan lengas dan udara, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika ditinjau dari viabilitas nematoda pada minggu ke 9, maka jumlah maksimum nematoda ada pada campuran 75% zeolit + 25% vertisol ($y = -0.01x^2 + 1.48x + 36$). Nampaknya komposisi ini adalah yang terbaik untuk menghasilkan mortalitas ulat $\geq 80\%$ dengan jangka waktu penyimpanan lebih lama.

Berdasarkan persamaan $y = -0.01x^2 + 1.48x + 36$, maka jumlah minimal nematoda efektif yang dapat menyebabkan mortalitas $\geq 80\%$ dalam tempo ≤ 3 hari pada inkubasi selama 9 minggu terletak pada kombinasi campuran 50% hingga 75% zeolit terhadap vertisol yaitu dalam kisaran : 85 hingga 90 Ekor.



Gambar 3. Uji Efektivitas Biopestisida

KESIMPULAN

1. Metoda tetes pada bahan kombinasi campuran Zeolit dan Vertisol menghasilkan granula berdiameter ± 8 mm, dan berat ± 0.3 g.
2. Biopestisida berbentuk granuler hasil campuran Zeolit, Vertisol dan *Steinernema spp* dapat mempertahankan viabilitas *Steinernema spp*. hingga minggu ke sembilan.
3. Formula untuk menghasilkan Biopestisida berbentuk granuler yang efektif hingga minggu ke Sembilan adalah kombinasi campuran 50% hingga 75% Zeolit terhadap Vertisol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DP2M yang telah membiayai penelitian melalui Program Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2009 dengan Nomor Kontrak 810/H25.3.1/P.L.6/200

DAFTAR PUSTAKA

1. Poinar G. O. 1979. *Nematodes For Biological Control of Insects*. CRC Press Inc. Boca Rabon Florida.
2. Chaerani, M., M. Finnegan, M. J. Downes dan C. T. Griffin. 1995. *Pembiakkan Massal Nematoda Entomopatogen Serangga Steinernema spp. dan Heterorhabditis spp. Isolat lokal Indonesia secara In - Vitro untuk Pengendalian Hama Pengerek Padi Secara Hayati*.

Dalam Makalah Balitbio. Disajikan pada Pekan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. Puspitek serpong.

3. Sulistyanto, D. and R. U. Ehlers. 1996. *Efficacy of the entomopathogenic nematodes H. megidis and H. bacteriophora for the control of grubs (P. horticola and A. contaminatus) in Golf Cours Turf*. Bio Control Sci. Tech. 6: 247-250.
4. Wooding, J.L; and H.K. Kaya, 1998. *Steinernematid and Heretorhabditid nemathodes . A Hand book of Biology and Techniques*. Southern Cooperative Series Bulletin331. Arkansas Agriculture Experiment Station, Fayetteville, Arkansas.
5. Kaya H. K. dan R. Gaugler, 1993. *Entomopatogenic Nematodes in Biological Control*. Boca Rabon Florida: penerbit CRC Press.
6. Wagiyana, D. Sulstyanto, dan P. Edy. 2007. *Produksi massal bioinsektisida Nematoda Entomopatogen Heterorhabditis spp Dengan berbagai variasi komposisi pakan*. J. I. Pert. Mapeta IX(2) : 108-118.
7. Georgis, R. 1990. *Present and future prospect for entomopathogenic nemathodes product*. J. Biocontrol sc. 2: 83-99.
8. Velde, B. 1992. *Introduction to Clay Minerals*. Chapman & Hall. London.
9. Sutarti, M dan M. Rachmawati. 1994. *Zeolit. Tinjauan Literaur*. Pusat Dokumentasi Dan Informasi Ilmiah. LIPI. Jakarta.

